ପଦାର୍ଥ ବିଜ୍ଞାନ

ପ୍ରଥମ ଭାଗ

ଡକ୍ଟର ପତିତ ପାବନ ମିଶ୍ର

ଓଡ଼ିଶା ରାଜ୍ୟ ପାଠ୍ୟ ପୁସ୍ତକ ପ୍ରଣୟନ ଓ ପ୍ରକାଶନ ସଂସ୍ଥା

ପଦାର୍ଥ ବିଜ୍ଞାନ

ପଞ୍ଚମ ଭାଗ

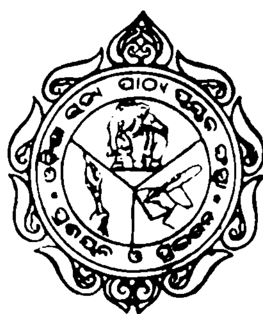
ଲେଖକ :

ଡକ୍ଟର ପତିତପାବନ ମିଶ୍ର

ପଦାର୍ଥ ବିଜ୍ଞାନ ରିଡର୍,

ସାମନ୍ତ ଚନ୍ଦ୍ରଶେଖର ମହାବିଦ୍ୟାଳୟ, ପୁରୀ

୧୯୭୩



ପ୍ରକାଶକ :

ଓଡ଼ିଶା ରାଜ୍ୟ ପାଠ୍ୟପୁସ୍ତକ ପ୍ରଣୟନ ଓ ପ୍ରକାଶନ ସଂସ୍ଥା

ଭୁବନେଶ୍ୱର

PADARTHA BIGYAN—Part V

(PHYSICS)

FOR INTERMEDIATE STUDENTS

Published under the Scheme of Production of Books and literature in regional languages at the University level sponsored by the Govern- ment of India in the Ministry of Education and Social welfare (Department of culture), NEW DELHI

Written by :

DR. PATITAPABANA MISHRA

Reader and Head of the Department of Physics

Samanta Chandra Sekhar College, Puri

First Edition – 1973

Published by :

ORISSA STATE BUREAU OF TEXT BOOK

Preparation & Production
Bhubaneswar, Orissa

Publication No. 49.

Printed by :

D. P. Mitra,
at the Elm Press
63, Beadon Street, Calcutta-6.

Price — Rs. 5.50

ପ୍ରସ୍ତାବନା

ପ୍ରତ୍ୟେକ ଜାତି ବା ଦେଶର ଉନ୍ନତି ତାର ଭାଷାର ପ୍ରଗତି ଉପରେ ନିର୍ଭର କରେ । ମାତୃଭାଷା ମାଧ୍ୟମରେ ଶିକ୍ଷା ସହଜ ଓ ସୁଗମ ହୋଇଥାଏ ।

ଏଣୁ, ଆମ ଦେଶର ବିଶ୍ୱବିଦ୍ୟାଳୟ ସ୍ତରରେ ମଧ୍ୟ ମାତୃଭାଷା ମାଧ୍ୟମ ନୀତି ସ୍ୱୀକୃତ ହୋଇଛି । ଓଡ଼ିଆ ଭାଷାରେ ବିଭିନ୍ନ ଉନ୍ନତ ପାଠ୍ୟ ପୁସ୍ତକର ପ୍ରଣୟନ ଓ ପ୍ରକାଶନ ନିମନ୍ତେ ଭାରତ ସରକାରଙ୍କ ଆନୁକୂଲ୍ୟରେ ଓଡ଼ିଶା ରାଜ୍ୟ ପାଠ୍ୟ ପୁସ୍ତକ ପ୍ରଣୟନ ଓ ପ୍ରକାଶନ ସଂସ୍ଥା ଗଠନ କରାଯାଇଛି । ବର୍ତ୍ତମାନ ଉକ୍ତ ସଂସ୍ଥା କର୍ତ୍ତୃକ ପଦାର୍ଥ ବିଜ୍ଞାନର ପଞ୍ଚମ ଭାଗ ପୁସ୍ତକଟି ପ୍ରକାଶିତ ହେଲା ।

ଏହି ପୁସ୍ତକଟି ଓଡ଼ିଶାର ତିନୋଟି ବିଶ୍ୱବିଦ୍ୟାଳୟର ନୂତନ ପାଠ୍ୟକ୍ରମ ଅନୁସାରେ ରଚିତ ହୋଇଛି । ପଦାର୍ଥ ବିଜ୍ଞାନର ରିଡର ଡକ୍ଟର ପତିତପାବନ ମିଶ୍ର ଏହି ପୁସ୍ତକଟିର ପ୍ରଣେତା । ଉତ୍କଳ ବିଶ୍ୱବିଦ୍ୟାଳୟ ପଦାର୍ଥ ବିଜ୍ଞାନ ବିଭାଗର ମୁଖ୍ୟ ଅଧ୍ୟାପକ ଡକ୍ଟର ବିଭୂତି ଭୂଷଣ ଦେଓ ଏହାକୁ ସମୀକ୍ଷା କରିଛନ୍ତି । ଏଣୁ ଆମେ ଉଭୟଙ୍କୁ ସଂସ୍ଥା ପକ୍ଷରୁ ହାର୍ଦ୍ଦିକ ଧନ୍ୟବାଦ ଜ୍ଞାପନ କରୁଛୁ ।

ପରିଶେଷରେ ଆମେ ଆଶାକରୁ ଯେ ପୁସ୍ତକଟି ବିଶ୍ୱବିଦ୍ୟାଳୟ ଶିକ୍ଷାରେ ଓଡ଼ିଆ ଭାଷାରେ ପଦାର୍ଥ ବିଜ୍ଞାନ ଅଧ୍ୟୟନ ଓ ଅଧ୍ୟାପନା ପାଇଁ ଯଥେଷ୍ଟ ସହାୟକ ହେବ ।

ଭୁବନେଶ୍ୱର
ଗଣେଶ ଚତୁର୍ଥୀ
୩୧ । ୮ । ୭୩

ଶ୍ରୀନିବାସ ସାହୁ
ନିର୍ଦ୍ଦେଶକ

REFERENCE BOOKS

(1) COLLEGE PHYSICS

by

Weber, Manning, and white.

(*Fourth Edition*)

(International Student Edition)

Publisher

TATA-MC GRAW HILL BOOK COMPANY.

(2) COLLEGE PHYSICS

by

Sears and Zemansky (*Third Edition*)

Publisher

Addition-Wesly Publishiug Company, Inc.

ସୂଚୀପତ୍ର

ପଦାର୍ଥ ବିଜ୍ଞାନ (Physics)

ବିଷୟ		ପୃଷ୍ଠା

୬ । ଷଷ୍ଠ ଅଧ୍ୟାୟ

ନିଉକ୍ଲିୟସ୍ର ପଦାର୍ଥ ବିଜ୍ଞାନ—

	ବିଷୟ	ପୃଷ୍ଠା
6.15	କସ୍ମିକ ରଶ୍ମି	୧୧୬
6.16	ପଜିଟ୍ରନ୍	୧୧୬
6.17	ନ୍ୟୁକ୍ଲିୟସର ଗଠନ	୧୧୭
6.18	ବିଭଜନ ପ୍ରକ୍ରିୟା	୧୧୯
6.19	ନ୍ୟୁକ୍ଲିୟାର ରିଆକ୍ଟର	୧୨୦
6.20	ଫ୍ୟୁଜନ ପ୍ରକ୍ରିୟା	୧୨୧

୭। ପରିଶିଷ୍ଟ



ମୁଖବନ୍ଧ

ପୃଥିବୀର ବିଶିଷ୍ଟ ବୈଜ୍ଞାନିକମାନଙ୍କ ଜୀବନୀ ପାଠକଲେ ଜଣାଯାଏ ଯେ ସେମାନଙ୍କ ମଧ୍ୟରୁ କେତେକ ବାଲ୍ୟାବସ୍ଥାରେ ବିଜ୍ଞାନ ଶିକ୍ଷା ନ କରି ମଧ୍ୟ ପରେ ଜଣେ ଜଣେ ବିଶିଷ୍ଟ ବୈଜ୍ଞାନିକ ହୋଇ ପାରିଥିଲେ । କିନ୍ତୁ ଆମ ଦେଶରେ ଏପରି ଦୃଷ୍ଟାନ୍ତ ଦେଖିବାକୁ ମିଳେ ନାହିଁ । ଏହାର ପ୍ରଧାନ କାରଣ ହେଲା, ଆମ ଦେଶରେ ମାତୃଭାଷାରେ ଲିଖିତ ବିଜ୍ଞାନ ବହି ପ୍ରାୟ ନାହିଁ କହିଲେ ଅତ୍ୟୁକ୍ତି ହେବ ନାହିଁ । ଯେ ଇଂରାଜୀ ନ ପଢ଼ିଛି, ସେ ବିଜ୍ଞାନ ବିଷୟରେ କିଛି ଜାଣେ ନାହିଁ । ତେଣୁପାଇଁ ମାତୃଭାଷାରେ ଲିଖିତ ବିଜ୍ଞାନ ବହିର ଉପାଦେୟତା ଯଥେଷ୍ଟ ରହିଛି ।

ବର୍ତ୍ତମାନ ଛାତ୍ରମାନଙ୍କ ମନରେ ଏହି ବିଶ୍ୱାସ ରହିଛି ଯେ ଆଧୁନିକ ବୈଜ୍ଞାନିକ ଜଟିଳ ତତ୍ତ୍ୱଗୁଡ଼ିକ ଦୁର୍ବୋଧ୍ୟ । କିନ୍ତୁ ପ୍ରକୃତରେ ତାହା ସତ୍ୟ ନୁହେଁ । ଯେ କୌଣସି ଜଟିଳ ତତ୍ତ୍ୱକୁ ଅତି ସହଜ ଓ ସରଳ ଭାବରେ ଲେଖା ଯାଇପାରେ ଯାହାକୁ କି ସାଧାରଣ ଜ୍ଞାନ ଲାଭ କରିଥିବା ଯେ କୌଣସି ବ୍ୟକ୍ତି ମଧ୍ୟ ବୁଝି ପାରିବ । ଏହି ଲକ୍ଷ୍ୟକୁ ଆଗରେ ରଖି ଏହି ପୁସ୍ତକରେ ଆଧୁନିକ ପଦାର୍ଥ ବିଜ୍ଞାନ ସମ୍ବନ୍ଧୀୟ କେତେକ ଜଟିଳ ତତ୍ତ୍ୱକୁ ସରଳ ଭାବରେ ପ୍ରକାଶ କରିବାର ପ୍ରୟାସ କରାଯାଇଅଛି । ଏହି ଚେଷ୍ଟା କେତେଦୂର ସଫଳ ହୋଇଛି, ତାହା ପାଠକମାନେ ବିଚାର କରିବେ ।

ଏହି ପୁସ୍ତକଟି ବିଶ୍ୱବିଦ୍ୟାଳୟ ଇଣ୍ଟରମିଡିଏଟ୍ (Intermediate) ପାଠ୍ୟକ୍ରମର ଅନ୍ତର୍ଭୁକ୍ତ ହୋଇଥିବା କେତେକ ବିଷୟ ବସ୍ତୁ ଉପରେ ଆଧାରିତ । ମାଧ୍ୟମିକ ଶିକ୍ଷାବୋର୍ଡ ପରିଚାଳିତ ହାଇସ୍କୁଲ ସାର୍ଟିଫିକେଟ ପରୀକ୍ଷାରେ ଉତ୍ତୀର୍ଣ୍ଣ ହୋଇଥିବା ଛାତ୍ର କିମ୍ବା ତ୍ରିକୋଣମିତି (Trigonometry) ବୀଜଗଣିତ, (Algebra) କିମ୍ବା ସାଧାରଣ ଜ୍ୟାମିତି (Geometry) ଜାଣିଥିବା ଯେ କୌଣସି ଛାତ୍ର ଏହି ପୁସ୍ତକଟିକୁ ପଢ଼ି ବୁଝି ପାରିବେ ବୋଲି ମୋର ଆଶା ।

ଏହି ପୁସ୍ତକରେ ଥିବା ପ୍ରାୟ ସମସ୍ତ ଇଂରାଜୀ ଶବ୍ଦର ଓଡ଼ିଆ ପରିଭାଷା "ଓଡ଼ିଶା ରାଜ୍ୟ ପାଠ୍ୟ ପୁସ୍ତକ ପ୍ରଣୟନ ଓ ପ୍ରକାଶନ ସଂସ୍ଥା" ଦ୍ୱାରା ପ୍ରକାଶିତ "ବୈଜ୍ଞାନିକ ପରିଭାଷା" (ପ୍ରଥମ ଭାଗ) ଓ ଭାରତ ସରକାରଙ୍କ ଦ୍ୱାରା ପ୍ରକାଶିତ "ବିଜ୍ଞାନ ଶବ୍ଦାବଳୀ-୧" (Science Glossary-1) ରୁ ଗ୍ରହଣ କରାଯାଇଛି ।

ଏହି ପୁସ୍ତକଟି "ଓଡ଼ିଶା ରାଜ୍ୟ ପାଠ୍ୟ ପୁସ୍ତକ ପ୍ରଣୟନ ଓ ପ୍ରକାଶନ ସଂସ୍ଥା"ଙ୍କ ଦ୍ୱାରା ପ୍ରକାଶିତ ହୋଇଥିବାରୁ ମୁଁ ତାର କର୍ମକର୍ତ୍ତାମାନଙ୍କୁ ଧନ୍ୟବାଦ ଜଣାଉଛି ।

ସର୍ବୋପରି ଉତ୍କଳ ବିଶ୍ୱବିଦ୍ୟାଳୟ ପଦାର୍ଥ ବିଜ୍ଞାନ ବିଭାଗର ମୁଖ୍ୟ ଅଧ୍ୟାପକ ଡଃ ବିଭୂତି ଭୂଷଣ ଦେଓ ଏହି ପୁସ୍ତକର ପାଣ୍ଡୁଲିପିର ତ୍ରୁଟି ନିରାକରଣ କରିବା ଦିଗରେ ମୋତେ ସାହାଯ୍ୟ କରିଥିବାରୁ ମୁଁ ତାଙ୍କ ନିକଟରେ କୃତଜ୍ଞ ।

ପତିତପାବନ ମିଶ୍ର

ଶୁଦ୍ଧିପତ୍ର

ପୃଷ୍ଠା	ଧାଡ଼ି	କଣ ଅଛି	କଣ ହେବ
5	24	w	W
5	27	w_1	W_1
6	10	W_3	W_2
7	12	w^2	ω^2
7	15	w^2	ω^2
7	16	w^2	ω^2
11	12	Reetangular	Rectangular
17	9	$-\bar{v}_e=\frac{dm}{dt}-mg=m\frac{dv}{dt}$	$-\vec{v}_2\frac{dm}{dt}-mg=m\frac{dv}{dt}$
18	7	କର୍ଷଣାପୃ	କର୍ଷଣୀପୃ
18	11	ଅକ୍ସଜେନ୍	ଅକ୍ସିଜେନ୍
37	13	ବେଗ ସମୀକରଣ	ବେଗ । ସମୀକରଣ
40	13	ଇଲେକ୍ଟ୍ରନରେ	ଇଲେକ୍ଟ୍ରନର
40	22	ଶକ୍ତି ।	ଶକ୍ତି 1
43	19	Frequenuy	Frequency
44	6	v	v
44	8	$\frac{1}{2}mv^2$	$\frac{1}{2}mv^2$
44	12	$\frac{1}{2}mv^2$	$\frac{1}{2}mv^2$
46	25	କରୁଥିଲେ ବିଦ୍ୟୁତ	କରୁଥିଲେ । ବିଦ୍ୟୁତ୍
48	10	(7) ଓ (8)	(3.7) ଓ (3.8)
50	3	ଇ:ଭ:	ଇ:ଭୋ:
50	28	ପାଙ୍କ	ପ୍ଲାଙ୍କ
55	ଶେଷ	କ୍ଲପିଙ୍ଗ	କ୍ଲିପିଙ୍ଗ
66	5	k	K

ପୃଷ୍ଠା	ଧାଡ଼ି	କଣ ଅଛି	କଣ ହେବ
66	6	ପିବ୍ରପୃଷ୍ଠକ	ପିବ୍ରପୃଷ୍ଠକ ଟେବୁଲ
70	22	ଫୋଟନ	ପ୍ରୋଟନ
71	10	Potentic	Potential
72	5	ପଦାର୍ଥ	କଣିକା
73	2	u	v
73	6	$\sqrt{\frac{105}{V}}$	$\sqrt{\frac{150}{V}}$
73	12	ନିଉଟ୍ରନ୍‌ରେ	ନିଉଟ୍ରନ୍‌ର
75	3	ପଦାଥ	ପଦାର୍ଥ
76	1	ଦରେ	ଦଗରେ
76	13	$P_n=\frac{h}{\lambda_m}$	$P_n=\frac{h}{\lambda_n}$
77	15	ବାକ	ବାକ୍ସ
78	12	ଦ୍ଵଭବାନ୍ତର	ଦ୍ଵଭବ
78	15	ଦ୍ଵଭବାନ୍ତର	ଦ୍ଵଭବ
79	26	$=-l,(l-1),(l-2)\ldots -1,0+1(l-1)$	$=-l,(l-1),\ldots\ldots -1,0,+1,\ldots+(l-1),+l$
82	17	R	K
85	10	ସେ:ମି	ଓମ୍-ମି
89	3	ବର୍ଦ୍ଧିତ	ବର୍ଜିତ
100	21	$\frac{N}{N_0}=\frac{1}{20}=e$	$\frac{N}{N_0}=\frac{1}{20}=e^{-0\cdot11t}$
101	8	6.25	6.025
103	6	$\simeq 4/A-4$	$4/(A-4)$
105	15	ଶ୍ରେଣା	ଶ୍ରେଣୀ
107	3	$_1H^2$	$_1H^3$
109	24	ପରମାଣର ଏକ	ପରମାଣର ଦୁଇ ଭାଗରୁ ଏକ ଭାଗ ଏକ

ପୃଷ୍ଠା	ଧାଡ଼ି	କଣ ଅଛି	କଣ ହେବ
110	26	ଏକ	ଏଦ୍ଧ
112	27	$-1c^{0}$	$-_{1}e^{0}$
114	2	ଅ.ମ.ଉ.	ଅ.ମା.ଉ.
115	16	${}_{79}Au^{19} \rightarrow {}_{80}Au^{198} + {}_{-1}e^{0}$	${}_{79}Au^{198} \rightarrow {}_{80}Hg^{198} + {}_{-1}e^{0}$
116	26	ଢଉଟ୍ରନ୍	ନିଉଟ୍ରନ୍
122	23	$18^{8}C$	$10^{8}{}^{\circ}C$
126	22	ପରମାଣବିକ	ପାରମାଣବିକ
129	1	ପରମାଣବିକ	ପାରମାଣବିକ
130	1	ପରମାଣବିକ	ପାରମାଣବିକ
131	1	ପରମାଣବିକ	ପାରମାଣବିକ
132	1	ପରମାଣବିକ	ପାରମାଣବିକ
133	15	Boldman's	Boltzmann's
133	21	160206×10^{-19}	1.60206×10^{-19}
137	11	ତାପକ୍ରମ	ତାପକ୍ରମ କିମ୍ବା ତାପମାତ୍ରା
138	20	ଫ୍ରଞ୍ଜ୍	ଫ୍ରିଞ୍ଜ୍
139	3	ବିବରଣ	ବିବରଣୀ

ପ୍ରଥମ ଅଧ୍ୟାୟ

ଅନ୍ତରୀକ୍ଷ ପଦାର୍ଥ ବିଜ୍ଞାନ

(Space Physics)

1609 ମସିହାରେ ଗାଲିଲିଓ ଦୂରବୀକ୍ଷଣ ଯନ୍ତ୍ର ଉଦ୍‌ଭାବନ କଲେ । ସେହିଦିନଠାରୁ ଅନ୍ତରୀକ୍ଷ ସମ୍ପର୍କରେ ଗବେଷଣା ଆରମ୍ଭ ହେଲା । କିନ୍ତୁ ଏହି ଗବେଷଣା ପୃଥିବୀ ପୃଷ୍ଠରୁ ବହୁ ଦୂରରେ ଥିବା ଗ୍ରହ ନକ୍ଷତ୍ରମାନଙ୍କୁ ନିରୀକ୍ଷଣ କରି ସେମାନଙ୍କ ସମ୍ପର୍କରେ ଜ୍ଞାନ ଅର୍ଜନ କରିବାରେ ସୀମାବଦ୍ଧ ରହିଥିଲା । ଏହାର ପ୍ରାୟ 300 ବର୍ଷ ପରେ ରୁଷ ଦେଶର ବୈଜ୍ଞାନିକ ଜିଓଲ କୋସ୍କି (Ziol Kowski) ଏବଂ ଗୁର୍ଡାଡ୍ (Goddard) ରାସାୟନିକ ଇନ୍ଧନ (Chemical fuel) ବ୍ୟବହାର କରି ଏକ ଅନ୍ତରୀକ୍ଷ ଯାନ (rocket) ପ୍ରସ୍ତୁତ କରିବାକୁ ସକ୍ଷମ ହୋଇଥିଲେ । 1957 ମସିହା ଅକ୍ଟୋବର ମାସ 4 ତାରିଖରେ ପ୍ରଥମ ଅନ୍ତରୀକ୍ଷ ଯାନ ପୃଥିବୀର ବାୟୁମଣ୍ଡଳକୁ ଅତିକ୍ରମ କରି ପୃଥିବୀ ଚାରିପଟେ ଗୋଟିଏ ଉପଗ୍ରହ ହୋଇ ବୁଲିଲା । ସେହିଦିନଠାରୁ ଅନ୍ତରୀକ୍ଷ ଅନ୍ୱେଷଣ (Space exploration) ବିଧିବଦ୍ଧ ଭାବରେ ଆରମ୍ଭ ହେଲା ।

୧ । ଅନ୍ତରୀକ୍ଷ ଅନ୍ୱେଷଣର ଉଦ୍ଦେଶ୍ୟ (Aim of space exploration)

ଲକ୍ଷ ଲକ୍ଷ ବର୍ଷ ତଳର ମନୁଷ୍ୟ ଆକାଶକୁ ଚାହିଁ ଯେତିକି ଆଶ୍ଚର୍ଯ୍ୟ ହେଉଥିଲା, ଆଜିର ମନୁଷ୍ୟ ଅନ୍ତରୀକ୍ଷ କଥା ଭାବି ତାର କୋଟିଗୁଣ ବିସ୍ମିତ ହେଉଛି । ଅନ୍ତରୀକ୍ଷ ସମ୍ପର୍କରେ ତାର ଜ୍ଞାନ ଯେତିକି ବଢ଼ୁଛି, ତାର ବିସ୍ମୟ ସେହି ଅନୁପାତରେ ବଢ଼ି ଚାଲିଛି । ତେଣୁ ସେ ଅନ୍ତରୀକ୍ଷ ସମ୍ପର୍କରେ ଅଧିକ ଜ୍ଞାନ ସଂଗ୍ରହ କରିବା ପାଇଁ ଆଗେଇ ଯାଉଛି । ଆଜିର ମନୁଷ୍ୟ ନିମ୍ନଲିଖିତ କେତୋଟି ବିଷୟରେ ପ୍ରକୃତ ତଥ୍ୟ ଜାଣିବା ପାଇଁ ଅନ୍ତରୀକ୍ଷ ଗବେଷଣା ଉପରେ ଧ୍ୟାନ ଦେଇଛି—

1. ପ୍ରକୃତିର ଗୁପ୍ତ ତଥ୍ୟ ।
2. ସୌର ଜଗତ ଓ ସୃଷ୍ଟିର କାରଣ ।

3. ଅନ୍ୟ ଗ୍ରହ ନକ୍ଷତ୍ରମାନଙ୍କରେ ପ୍ରାଣୀ ଜଗତର ଅବସ୍ଥାନ ।
4. ସୂର୍ଯ୍ୟ ସମ୍ପର୍କରେ ଅଧିକ ଜ୍ଞାନ ଲାଭ ।
5. ବିଶ୍ୱ ସମ୍ପର୍କରେ ଅଧିକ ଜ୍ଞାନ ଲାଭ ।
6. ବିଜ୍ଞାନରେ ଅଧିକ ପାରଦର୍ଶିତା ଲାଭ ।

ବର୍ତ୍ତମାନ ଅନ୍ତରୀକ୍ଷ ସମ୍ପର୍କରେ ଚାଲିଥିବା ଗବେଷଣାଗୁଡ଼ିକରୁ ନିମ୍ନଲିଖିତ ବିଷୟଗୁଡ଼ିକ ଜାଣି ପାରିବା ।

1. ଚନ୍ଦ୍ର ବିଷୟରେ ଏ ସବୁ ଜଣା ଗଲାଣି—
   (a) ଚନ୍ଦ୍ର ଉପରେ ମନୁଷ୍ୟ କେଉଁଠାରେ ପ୍ରଥମେ ବସବାସ କରିବ ।
   (b) ଚନ୍ଦ୍ରର ପୃଷ୍ଠ ଭାଗ ଧୂଳିକଣା ଦ୍ୱାରା ଆବୃତ କି ନୁହେଁ ।
   (c) ଚନ୍ଦ୍ରରୁ ତେଜସ୍କ୍ରିୟ ବିକୀରଣ ହୁଏ କି ନାହିଁ ।
   (d) ଚନ୍ଦ୍ରର ମହାକର୍ଷଣ ବଳ (Gravitational force) ର ପରିମାଣ କେତେ ?
   (e) ଚନ୍ଦ୍ର ପୃଷ୍ଠରେ କୌଣସି ଜାଗାରେ ଫାଟ (Crack) ଅଛି କି ନାହିଁ ।

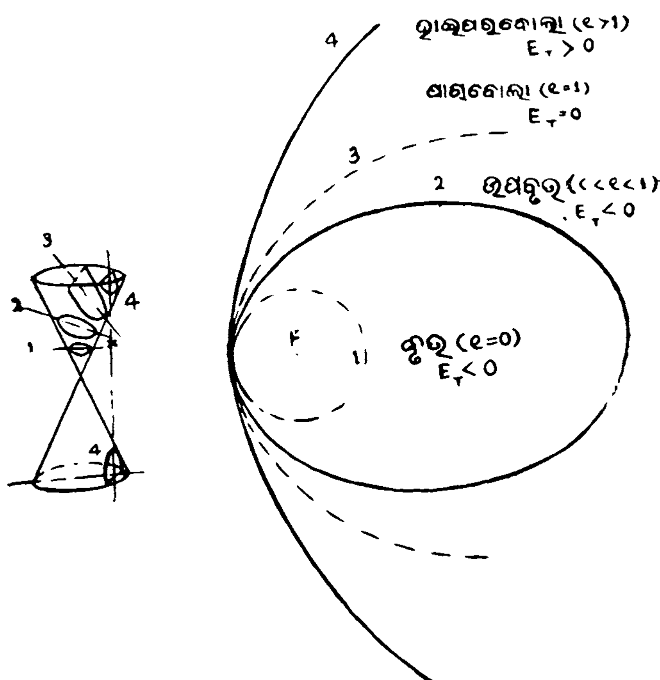
2. ସେହିପରି ମଙ୍ଗଳ (Mars) ଏବଂ ଶୁକ୍ର (Venus) ବିଷୟରେ ଆମେ ନିମ୍ନଲିଖିତ ବିଷୟମାନ ଜାଣିବାକୁ ଇଚ୍ଛା କରୁଁ ।
   (a) ମଙ୍ଗଳ ଗ୍ରହ ପୃଥିବୀ ପରି କି ନୁହେଁ ?
   (b) ମଙ୍ଗଳରେ ବାୟୁମଣ୍ଡଳ ଓ ଜଳ ଅଛି କି ନାହିଁ ?
   (c) ମଙ୍ଗଳରେ ଜୀବନ୍ତ ପ୍ରାଣୀ ଅଛନ୍ତି କି ନାହାନ୍ତି ଓ ମନୁଷ୍ୟ ସେଠାରେ ବାସ କରି ପାରିବ କି ନାହିଁ ?
   (d) ଶୁକ୍ର କାହିଁକି ମେଘ ଦ୍ୱାରା ଆଚ୍ଛାଦିତ ହୋଇଥାଏ ?
   (e) ଶୁକ୍ରରେ ଥିବା ମେଘ କେଉଁ ଉପାଦାନରେ ଗଠିତ ?
   (f) ଶୁକ୍ରର ପୃଷ୍ଠଭାଗ କିପରି ଓ ଏହାର ତାପ କ୍ରମ (Temperature) କେତେ ?
   (g) ଶୁକ୍ରରେ ଜଳ ଓ ଅମ୍ଳଜାନ ଅଛି କି ନାହିଁ ?

ଏହା ବ୍ୟତୀତ ରକେଟ ସାହାଯ୍ୟରେ ବାୟୁମଣ୍ଡଳର ଚାପ, ତାପକ୍ରମ ଇତ୍ୟାଦି ବିଷୟରେ ଜାଣି ହୁଏ । କୃତ୍ରିମ ଉପଗ୍ରହ (Satellite) ସାହାଯ୍ୟରେ

ପୃଥିବୀର ଆକାର, ପାଗ (weather) ଏବଂ ଚୁମ୍ବକ କ୍ଷେତ୍ର ବିଷୟରେ ଧାରଣା କରି ହୁଏ । ଅନ୍ତରୀକ୍ଷ ଅନୁଧ୍ୟାନକାରୀ ରକେଟ (Space probe Rocket) ଦ୍ୱାରା ବିକିରଣ ବେଲ୍ଟ (Radiation belt) ଓ ବାୟୁମଣ୍ଡଳର ଆୟନୀକରଣ (Ionisation) ସମ୍ପର୍କରେ ସଠିକ ଜ୍ଞାନ ଲାଭ କରାଯାଇପାରେ ।

୨ । ସାଟେଲାଇଟର କକ୍ଷ (Orbits of Satellites)

ଗୋଟିଏ ସାଟେଲାଇଟ ଏକ କେନ୍ଦ୍ରୀୟ ବସ୍ତୁ (Central Body) ନିକଟ ଦେଇ ଗତିକଲେ ତାର ଗତିପଥ ବିଭିନ୍ନ ପ୍ରକାରର ହୋଇଥାଏ । ଗାଣିତିକ ନାମକରଣ ଅନୁସାରେ ଏହି ପଥକୁ କୋନିକ୍ ବକ୍ର (Conic Curve) କୁହାଯାଏ । ଗୋଟିଏ କାହାଳ ବା ଲମ୍ବ ବୃତ୍ତୀୟ କୋନ୍ (Right circular cone) କୁ ବିଭିନ୍ନ ସମତଳରେ କାଟିବାର କଳ୍ପନା କଲେ ଯେଉଁସବୁ ବକ୍ର ରେଖାଗୁଡ଼ିକ ମିଳେ, ସେଗୁଡ଼ିକ ପ୍ରତ୍ୟେକ ଗୋଟିଏ ଗୋଟିଏ କୋନିକ୍ ବକ୍ର (Conic Curve) ଅଟେ (ଚିତ୍ର ଦେଖ) ।



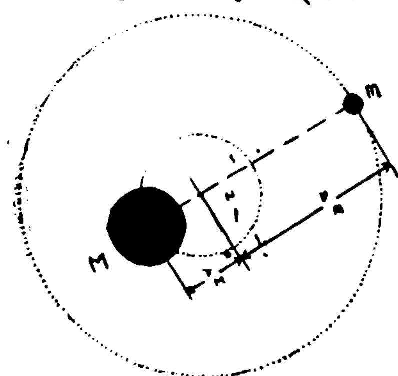
ଚିତ୍ର (1.1)

ଯଦି ଗୋଟିଏ ବସ୍ତୁ ଏକ କେନ୍ଦ୍ରୀୟ ବସ୍ତୁ (Central Body) ଦ୍ୱାରା ବନ୍ଧା (Bound) ହୋଇଥାଏ, ତେବେ ବନ୍ଧା ହୋଇଥିବା ବସ୍ତୁଟି ଗ୍ରହଗୁଡ଼ିକ ସୂର୍ଯ୍ୟ ଚାରିପାଖରେ ବୁଲିଲା ପରି ଏକ ଉପବୃତ୍ତୀୟ କକ୍ଷ (elliptic orbit) ରେ କେନ୍ଦ୍ରୀୟ ବସ୍ତୁ ଚାରିପାଖରେ ବୁଲେ । କିନ୍ତୁ କୌଣସି ଏକ ଧୂମକେତୁ (Comet) ସୂର୍ଯ୍ୟ ପାଖରେ ଗତିକଲେ ତାର ପଥ ହାଇପରବୋଲିକ୍ (Hyperbolic) ହୋଇ ଥାଏ । ଏକ ପାରାବୋଲିକ୍ ପଥ (Parabolic) ହାଇପରବୋଲିକ୍ ପଥର ଏକ ବିଶେଷ ପ୍ରକରଣ ଏବଂ ସେହିପରି ଏକ ବୃତ୍ତାକାର ପଥ, ଉପବୃତ୍ତୀୟ କକ୍ଷର ଏକ ବିଶେଷ ପ୍ରକରଣ । ପାରାବୋଲିକ୍ ଓ ବୃତ୍ତାକର ପଥ ଦ୍ୱୟ ଅସ୍ଥାୟୀ (unstable) ଓ ସାମାନ୍ୟ ବିକ୍ଷୋଭ (disturbance) ଦ୍ୱାରା ଯଥାକ୍ରମେ ହାଇପରବୋଲିକ୍ ଓ ଉପବୃତ୍ତାକାର ପଥରେ ପରିବର୍ତ୍ତିତ ହୋଇ ଯାଏ । ଚିତ୍ର (1.1) ରେ ବିଭିନ୍ନ ପ୍ରକାର ପଥର ଚିତ୍ର ଦିଆ ଯାଇଅଛି ।

ସାଟେଲାଇଟ୍‌ର କକ୍ଷକୁ ବୃତ୍ତାକାର ବୋଲି ଧରିନେଲେ କେତେକ ସାଧାରଣ ଗୁରୁତ୍ୱପୂର୍ଣ୍ଣ ବିଷୟର ସନ୍ଧାନ ସହଜରେ ମିଳେ । ଆମେ ଯଦି ନିମ୍ନଲିଖିତ ବିଷୟଗୁଡ଼ିକୁ କଳ୍ପନା କରି ନେଉ, ତାହେଲେ ସାଟେଲାଇଟର କକ୍ଷଗୁଡ଼ିକ ବୃତ୍ତାକାର ହେବ ।

(1) କେନ୍ଦ୍ରୀୟ ବସ୍ତୁର (Central body) ମହାକର୍ଷଣୀୟ (gravitational force) ବଳ କେନ୍ଦ୍ରଠାରୁ ସାଟେଲାଇଟର ଦୂରତା ଉପରେ କେବଳ ନିର୍ଭର କରେ । (2) ସାଟେଲାଇଟର ବସ୍ତୁତ୍ୱ କେନ୍ଦ୍ରୀୟ ବସ୍ତୁର ବସ୍ତୁତ୍ୱ ତୁଳନାରେ ଅତ୍ୟନ୍ତ କମ୍ । ତେଣୁ ଦୁଇ ବସ୍ତୁର ବସ୍ତୁତ୍ୱର କେନ୍ଦ୍ର (ଚିତ୍ର (1.2)) (centre of mass) କେନ୍ଦ୍ରୀୟ ବସ୍ତୁର କେନ୍ଦ୍ର ସହିତ ପ୍ରାୟ ମିଳିଯିବ । (3) ବସ୍ତୁ ଦୁଇଟି ପ୍ରତ୍ୟେକ ଗୋଲକାକାର (Spherical) ।

କିନ୍ତୁ ପ୍ରକୃତରେ ପୃଥିବୀ ଏକ ଗୋଲକ ନୁହେଁ । ଏହା ଦୁଇ ମେରୁ



ଚିତ୍ର (1.2)

ପାଖରେ ସାମାନ୍ୟ ଚେପଟା ହୋଇ ଥିବାରୁ ପୃଥିବୀର ମହାକର୍ଷଣୀୟ ବଳର ପ୍ରଭାବ ସାଟେଲାଇଟ ଉପରେ ସବୁ ସ୍ଥାନରେ ସମାନ ଭାବେ ପଡ଼େ ନାହିଁ, ତେଣୁ ସବୁବେଳେ ସାଟେଲାଇଟ୍ କକ୍ଷର ପରିବର୍ତ୍ତନ ହେଉଥାଏ । କ୍ରମାଗତ ପରିବର୍ତ୍ତନ ଯୋଗୁ ସାଟେଲାଇଟ ପୃଥିବୀର ବିଭିନ୍ନ ଅଂଶ ଉପରେ ଦେଇ ଯାଇପାରେ ।

୩ । ବୃତ୍ତାକାର କକ୍ଷର ଶକ୍ତି (Energy of Circular orbits)

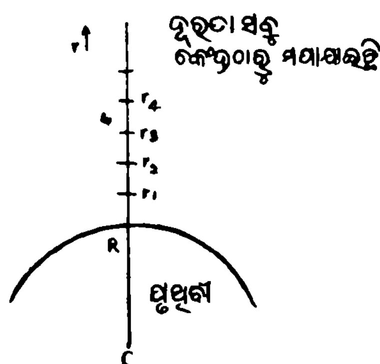
ଆମେ ଆଗରୁ ଜାଣୁ କୌଣସି ବସ୍ତୁକୁ ପୃଥିବୀ ପୃଷ୍ଠରୁ ଯେତେ ଦୂରକୁ ନେବା, ତାର ସ୍ଥିତିଜ ଶକ୍ତି (Potential Energy) ସେତେ ବଢ଼ିବ । ଏହି ସ୍ଥିତିଜ ଶକ୍ତିର ପରିମାଣ ନିର୍ଣ୍ଣୟ କରିବାକୁ ହେଲେ କେଉଁ ଦୂରତାରେ ବସ୍ତୁର ସ୍ଥିତିଜ ଶକ୍ତି ଶୂନ୍ୟ, ତାହା ଜାଣିବା ଦରକାର । ମହାକର୍ଷଣୀୟ ସ୍ଥିତିଜ ଶକ୍ତି (Gravitational potential energy) ମାପିବା ସମୟରେ କ୍ଷୁଦ୍ର ବସ୍ତୁଟି ସମୁଦ୍ର ପତ୍ତନରେ ଥିବା ସମୟରେ ତାର ସ୍ଥିତିଜ ଶକ୍ତି ଶୂନ୍ୟ ବୋଲି ଧରାଯାଏ । କିନ୍ତୁ ଅନ୍ୟ ସ୍ଥଳରେ କ୍ଷୁଦ୍ର ବସ୍ତୁଟି କେନ୍ଦ୍ରୀୟ ବସ୍ତୁ (central mass) ଠାରୁ ଅନନ୍ତ (infinity) ଦୂରରେ ଥିବା ସମୟରେ ତାର ସ୍ଥିତିଜ ଶକ୍ତି ଶୂନ୍ୟ ବୋଲି ଧରାଯାଏ ।

ଗୋଟିଏ ବୃହତ ବସ୍ତୁ ଠାରୁ ଅନନ୍ତ ଦୂରତାରେ ଥିବା ଏକ କ୍ଷୁଦ୍ର ବସ୍ତୁକୁ ନିର୍ଦ୍ଦିଷ୍ଟ ଦୂରତାକୁ ଆଣିବା ପାଇଁ ଦରକାର ହେଉଥିବା ଶକ୍ତିକୁ ସ୍ଥିତିଜ ଶକ୍ତି ବୋଲି କୁହାଯାଏ । ଯଦି ବସ୍ତୁଟି ଆକର୍ଷିତ ହୋଇ ଆପେ ଆପେ ଆସିପାରେ, ତେବେ 'r' ଦୂରତାରେ ସ୍ଥିତିଜ ଶକ୍ତି ନେଗେଟିଭ (negative) ହେବ । ଯଦି ବସ୍ତୁଟି ବିକର୍ଷିତ ହେଉଥାଏ, ତେବେ ସ୍ଥିତିଜ ଶକ୍ତି ପଜିଟିଭ (positive) ହେବ ।

ମନେକର ଗୋଟିଏ କ୍ଷୁଦ୍ର ବସ୍ତୁ ପୃଥିବୀର କେନ୍ଦ୍ର ଠାରୁ r ଦୂରରେ ଅଛି ଓ ପୃଥିବୀ ପୃଷ୍ଠରୁ ବସ୍ତୁଟିକୁ r ଦୂରକୁ ନେବା ପାଇଁ ଦରକାର ହେଉଥିବା ଶକ୍ତିର ପରିମାଣ w ହେଉ । ପୃଥିବୀ ପୃଷ୍ଠ R ଠାରୁ r ଦୂରତ୍ୱକୁ ଏପରି କେତେଗୁଡ଼ିଏ କ୍ଷୁଦ୍ର ଅଂଶରେ ବିଭକ୍ତ କର ଯେପରି ପ୍ରତ୍ୟେକ କ୍ଷୁଦ୍ର ଅଂଶ ପାଇଁ ମହାକର୍ଷଣୀୟ ବଳ F_g (gravitational force) ର ପରିମାଣ ସମାନ ବୋଲି ଧରି ନିଆଯାଇପାରେ । ଯଦି ବସ୍ତୁକୁ R ଠାରୁ r_1 କୁ ନେବା ପାଇଁ w_1

ପରିମାଣର ଶକ୍ତି ଦରକାର ହୁଏ, ପୃଥିବୀର ବସ୍ତୁତ୍ୱ M, ଓ ବସ୍ତୁର ବସ୍ତୁତ୍ୱ m ଓ G ମହାକର୍ଷଣୀୟ ଧ୍ରୁବାଙ୍କ ହୁଏ,

ମହାକର୍ଷଣୀୟ ବିଭବ ଶକ୍ତିର ପରିକଳନ



ଚିତ୍ର (1.3)

ତେବେ $W_1 = F_g\ (r_1 - R)$

$$= \frac{GMm}{Rr_1}(r_1 - R) \qquad (1.1)$$

$$= GMm\left(\frac{1}{R} - \frac{1}{r_1}\right)$$

ସେହିପରି ଦ୍ୱିତୀୟ ଅଂଶ ପାଇଁ—

$$W_2 = \frac{GMm}{r_1\, r_2}(r_2 - r_1) = GMm\left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2}\right) \qquad (1.2)$$

ଏବଂ ତୃତୀୟ ଅଂଶ ପାଇଁ—

$$W_3 = GMm\left(\frac{1}{r_2} - \frac{1}{r_3}\right) \qquad (1.3)$$

ତେଣୁ $W = W_1 + W_3 + W_3 + \cdots\cdots$

$$W = GMm\left(\frac{1}{R} - \frac{1}{r}\right) \qquad (1.4)$$

ସମୀକରଣ (1.4) ସାହାଯ୍ୟରେ ଗୋଟିଏ ବସ୍ତୁକୁ ପୃଥିବୀ ପୃଷ୍ଠରୁ ନିର୍ଦ୍ଦିଷ୍ଟ ଦୂରକୁ ନେବା ପାଇଁ ଦରକାର ହେଉଥିବା ଶକ୍ତିର ପରିମାଣ ନିର୍ଣ୍ଣୟ କରାଯାଇପାରେ ।

ଯଦି ବସ୍ତୁଟି ପୃଥିବୀ ପୃଷ୍ଠରୁ ଅନନ୍ତ ଦୂରରେ ଥିବା ସମୟରେ ତାର ବିଭବ ଶକ୍ତିକୁ ଶୂନ୍ୟ ଧରାଯାଏ, ତେବେ ମହାକର୍ଷଣୀୟ ବିଭବ ଶକ୍ତି (Gravitational potential energy) ର ପରିମାଣ ହେଲା—

$$E_p = -W_{r\to\infty} = -GMm\left(\frac{1}{r} - \frac{1}{\infty}\right)$$

$$= -\frac{GMm}{r} \qquad (1.5)$$

ତେଣୁ ପୃଥିବୀ ଚାରିପାଖେ ବୁଲୁଥିବା ଗୋଟିଏ ବସ୍ତୁର ବିଭବ ଶକ୍ତି ସବୁବେଳେ ନେଗେଟିଭ ହେବ । ଗତିଶୀଳ ବସ୍ତୁର ଗତିଶକ୍ତି E_k ପରିମାଣ ହେଲା $\frac{1}{2} mV^2$ ଏବଂ ବସ୍ତୁଟି ବୃତ୍ତାକାର କକ୍ଷରେ ବୁଲୁଥିଲେ $V = \omega r$ (1.6)

ଯେଉଁଠାରେ V = ସରଳ ରୈଖିକ ବେଗ (Linear velocity)

ω = କୌଣିକ ବେଗ (Angular velocity)

r = ବୃତ୍ତାକାର କକ୍ଷର ବ୍ୟାସାର୍ଦ୍ଧ

ତେଣୁ $E_k = \frac{1}{2} m w^2 r^2$

ବସ୍ତୁଟି ପୃଥିବୀ ଚାରିପାଖେ ବୁଲୁଥିବାରୁ ମହାକର୍ଷଣୀୟ ବଳ (Gravitational force) କେନ୍ଦ୍ରାପସାରୀ ବଳ (Centrifugal force) ସହିତ ସମାନ

$$\frac{GMm}{r^2} = mrw^2 \qquad (1.7)$$

ବିମ୍ବା $$GM = r^3 w^2 \qquad (1.8)$$

ଗତିଶକ୍ତିର ପରିମାଣ ହେଲା

$$E_k = \frac{1}{2}\frac{GmM}{r} \qquad (1.9)$$

ଏହିଥିରୁ ଜଣାଗଲା ବୃତ୍ତାକାର କକ୍ଷରେ ବୁଲୁଥିବା ଗୋଟିଏ ବସ୍ତୁର ଗତିଶକ୍ତି ସର୍ବଦା ପଜିଟିଭ (Positive) ତେଣୁ ଏହାର ଗତିଶକ୍ତି ଶୂନ୍ୟ ହେବା ପର୍ଯ୍ୟନ୍ତ ଏହା କାର୍ଯ୍ୟ କରିପାରେ ।

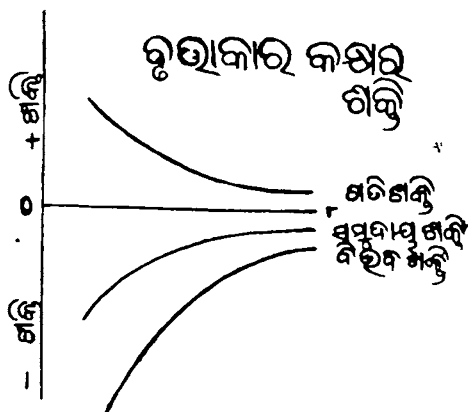
ବୃତ୍ତାକାର କକ୍ଷ ପାଇଁ ସମୁଦାୟ ଶକ୍ତିର ପରିମାଣ E ହେଲେ

$$E = E_k + E_p = \frac{GmM}{2r} - \frac{GmM}{r}$$

ବା, $$E = \frac{-GmM}{2r} \qquad (1.10)$$

ବିଭବ ଶକ୍ତି ନେଗେଟିଭ୍ ହେବାରୁ ବସ୍ତୁଟି ପୃଥିବୀ ସହିତ ଆବଦ୍ଧ (Bound) ଅବସ୍ଥାରେ ଥାଏ । ଏହି ଅବସ୍ଥାରୁ ବସ୍ତୁଟିକୁ ମୁକ୍ତ କରିବା ପାଇଁ ନିର୍ଦ୍ଦିଷ୍ଟ ପରିମାଣର ଶକ୍ତି ଦରକାର ।

ସମୀକରଣ (1.10) ରୁ ଜଣାଯାଏ, ବୃତ୍ତାକାର କକ୍ଷର ବ୍ୟାସାର୍ଦ୍ଧର ବୃଦ୍ଧି ହେଲେ ବିଭବ ଶକ୍ତି ଓ ସମୁଦାୟ ଶକ୍ତିର ବୃଦ୍ଧି ହୁଏ ଏବଂ ଗତିଶକ୍ତିର ହ୍ରାସ ହୁଏ । (ଚିତ୍ର (1.4) ଦେଖ)



ଚିତ୍ର (1·4)

ଉଦାହରଣ—

100 କି:ଗ୍ରା: ଓଜନ ବିଶିଷ୍ଟ ଗୋଟିଏ କୃତ୍ରିମ ଉପଗ୍ରହ 10 କି:ମି:/ ସେକେଣ୍ଡ ବେଗରେ ପୃଥିବୀ ପୃଷ୍ଠରୁ ଛଡ଼ା ଗଲା । ଉପଗ୍ରହଟି ପୃଥିବୀ ଚାରିପାଖେ ବୃତ୍ତାକାର କକ୍ଷରେ ବୁଲି ପାରିବ ନା ନାହିଁ ?

ଉପଗ୍ରହର ବିଭବ ଶକ୍ତିର ପରିମାଣ ଯଦି ତାର ଗତିଶକ୍ତିର ପରିମାଣ ଠାରୁ ବେଶୀ ହେବ, ତାହା ପୃଥିବୀ ଚାରିପାଖେ ବୃତ୍ତାକାର କକ୍ଷରେ ବୁଲିବ ଓ କମ ହେଲେ ତାହା ପୃଥିବୀର ମହାକର୍ଷଣୀୟ ବଳକୁ ଅତିକ୍ରମ କରିଯିବ ।

$$E_p = -\frac{GMm}{R}$$

$$= -\frac{6.67\times10^{-11}\ \text{ମି}^3}{\text{କି:ଗ୍ରା}-\text{ସେକେଣ୍ଡ}^2} \times \frac{5.97\times10^{24}\ \text{କି:ଗ୍ରା}\times100\ \text{କି:ଗ୍ରା}}{6.37\times10^{6}\ \text{ମି}}$$

$$= -6.24\times10^{9}\ \text{ଯୁଲ୍}$$

$$E_k = \tfrac{1}{2}mV^2 = \tfrac{1}{2}\times100\ \text{କି:ଗ୍ରା:}\ (10\times10^{3}\ \text{ମି/ସେ})^2$$

$$= 5\times10^{9}\ \text{ଯୁଲ୍}$$

ତେଣୁ $E = E_k + E_p = -1.24\times10^{9}$ ଯୁଲ୍

ଏଠାରେ ସମୁଦାୟ ଶକ୍ତି ନେଗେଟିଭ ହୋଇଥିବାରୁ ସାଟେଲାଇଟ୍‌ଟି ପୃଥିବୀ ଚତୁଃପାଖେ ବୁଲିବ ।

ଉଦାହରଣ—

ଗୋଟିଏ ରକେଟ୍‌ର ସର୍ବନିମ୍ନ ବେଗ କେତେହେଲେ ତାହା ପୃଥିବୀ ମହାକର୍ଷଣୀୟ ବଳକୁ ଅତିକ୍ରମ କରିଯାଇ ପାରିବ ?

ରକେଟ ଉପରେ ବାୟୁମଣ୍ଡଳର ଓ ପୃଥିବୀର ଘୂର୍ଣ୍ଣନର ପ୍ରଭାବକୁ ଛାଡ଼ି ଦେଲେ ସର୍ବନିମ୍ନ ବେଗର ପରିମାଣ ସହଜରେ ନିର୍ଣ୍ଣୟ କରାଯାଇପାରେ । ଯେଉଁ ବେଗରେ ଗଲେ ରକେଟର ବିଭବଶକ୍ତି ଗତିଶକ୍ତି ସହିତ ସମାନ ହେବ ସେହି ବେଗ ହେଉଛି ସର୍ବନିମ୍ନ ବେଗ । ଯଦି V ସର୍ବନିମ୍ନ ବେଗ ହୁଏ, ତେବେ·

$$\tfrac{1}{2}mV^2=\frac{GMm}{R} \text{ କିମ୍ବା } V^2=\frac{2GM}{R}$$

$$=\frac{2\cdot(6.67\times10^{-11} \text{ ନିଉଟନ}-\text{ମି}^2)(5.97\times10^{24} \text{ କି:ଗ୍ରା})}{(\text{କି:ଗ୍ରା})^2\ 6.37\times10^6 \text{ ମି}}$$

$$=1.23\times10^8 \text{ ମି}^2/\text{ସେ}^2$$

$$V=11.2 \text{ କି.ମି/ସେ}$$

ଉଦାହରଣ—

ପୃଥିବୀ ପୃଷ୍ଠରୁ 480 କି:ମି: ଉପରେ ଥିବା ଏକ ଅନ୍ତରୀକ୍ଷ ପ୍ଲାଟଫର୍ମ (Space Platform) ରୁ ଗୋଟିଏ ପ୍ରକ୍ଷେପ୍ୟ (projectile) ଭୂସମାନ୍ତର ଦିଗରେ କେତେ ବେଗରେ ଛଡ଼ା ଗଲେ ତାହା ବୃତ୍ତାକାର କକ୍ଷରେ ପୃଥିବୀ ଚତୁଃପଟେ ବୁଲିବ ?

ପ୍ରକ୍ଷେପ୍ୟଟି 480 କି:ମି: ଉପରେ ବୃତ୍ତାକାର କକ୍ଷରେ ବୁଲିବାକୁ ହେଲେ ସେହି ଉଚ୍ଚତାରେ ମହାକର୍ଷଣୀୟ ବଳ (Gravitational force) କେନ୍ଦ୍ରାଭିମୁଖୀ ବଳ ସହିତ ସମାନ ହେବ—

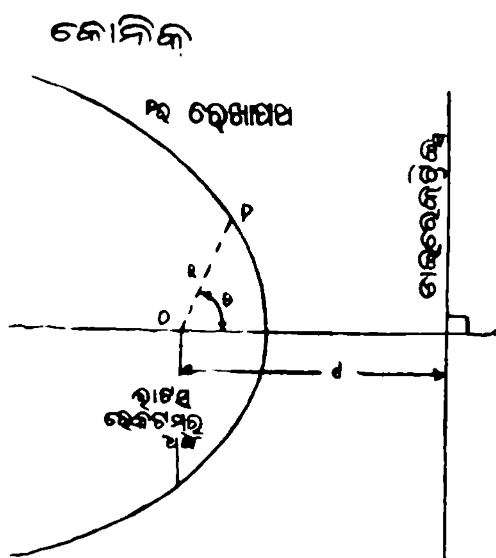
$$F=\frac{mV^2}{R+h}=\frac{GMm}{(R+h)^2} \text{ କିମ୍ବା } V^2=\frac{GM}{(R+h)}$$

$$\text{କିମ୍ବା } V^2=\frac{6.67\times10^{-11} \text{ ନିଉଟନ}-\text{ମି}^2/\text{କି:ଗ୍ରା}^2)(5.97\times10^{24} \text{ କି:ଗ୍ରା:}}{(6.37\times10^6+.48\times10^6) \text{ କି:ମି:}}$$

$$=7.60 \text{ କି:ମି:/ସେ}$$ ।

୪ । ଉପବୃତ୍ତୀୟ କକ୍ଷ (Elliptic Orbits)

ଗୋଟିଏ ନିର୍ଦ୍ଦିଷ୍ଟ ବିନ୍ଦୁ ଠାରୁ ଓ ଗୋଟିଏ ନିର୍ଦ୍ଦିଷ୍ଟ ସରଳରେଖା ଠାରୁ ଏକ ରେଖା ପଥର (locus) ଯେ କୌଣସି ବିନ୍ଦୁର ଦୂରତାର ଅନୁପାତ ଏକ ଧ୍ରୁବାଙ୍କ ହେଲେ ସେହି ରେଖା ପଥକୁ କୋନିକ୍ କୁହାଯାଏ । ନିର୍ଦ୍ଦିଷ୍ଟ ବିନ୍ଦୁକୁ ଫୋକସ୍ (Focus) ନିର୍ଦ୍ଦିଷ୍ଟ ସରଳ ରେଖାକୁ ଡାଇରେକ୍‌ଟ୍ରିକ୍ସ (Directrix) ଏବଂ ଧ୍ରୁବାଙ୍କକୁ ଇସେନଟ୍ରିସିଟି (eccentricity) କୁହାଯାଏ । ଚିତ୍ର (1.5) ରେ ଡାଇରେକଟ୍ରିକ୍ସ (Directrix) ଠାରୁ ରେଖା ପଥର ଦୂରତା $= d - R \cos\theta$ ଏବଂ ଫୋକସ ଠାରୁ ରେଖା ପଥର ଦୂରତା $= R$



ଚିତ୍ର (1.5)

ତେଣୁ ଇସେନଟ୍ରିସିଟି (eccentricity)

$$E = \frac{R}{d - R\cos\theta} \text{ ଧ୍ରୁବାଙ୍କ} \qquad (1.11)$$

ନିର୍ଦ୍ଦିଷ୍ଟ ପ୍ରକାର କୋନିକ୍ ପାଇଁ ଇସେନ୍‌ଟ୍ରିସିଟିର ପରିମାଣ ଭିନ୍ନ ହୋଇଥାଏ ଯଥା—

1. ବୃତ୍ତ $= \epsilon = 0$
2. ଉପବୃତ୍ତ $0 \angle \epsilon \angle 1$

3. ପାରାବୋଲା $\epsilon=1$

4. ହାଇପରବୋଲା $\epsilon>1$

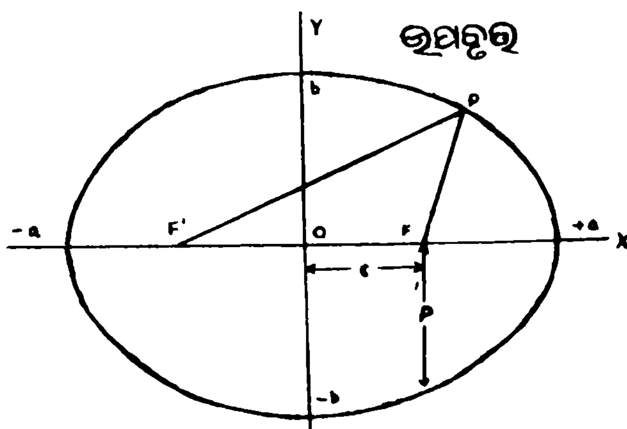
5. ସରଳରେଖା $\epsilon=\infty$

ଯଦି କୌଣସି ଦୁଇ ନିର୍ଦ୍ଦିଷ୍ଟ ବିନ୍ଦୁ ଠାରୁ ଏକ ରେଖା ପଥର ଯେ କୌଣସି ବିନ୍ଦୁର ଦୂରତାର ସମଷ୍ଟି ସବୁବେଳେ ସମାନ ହୁଏ, ତେବେ ସେହି ରେଖା ପଥକୁ ଉପବୃତ୍ତ କୁହାଯାଏ । ଚିତ୍ର (1.6) ରେ

$F^1P+PF=2a$ (ବୃହତ୍ତର ଅକ୍ଷର ଲମ୍ବ) ଦୁଇ ନିର୍ଦ୍ଦିଷ୍ଟ ବିନ୍ଦୁକୁ ଫୋକସ (Focus) କୁହାଯାଏ । ଗୋଟିଏ ଉପବୃତ୍ତର ବୃହତ୍ତର ଅକ୍ଷର ମଧ୍ୟ ବିନ୍ଦୁ ଠାରୁ ଏକ ଫୋକସର ଦୂରତା ଓ ବୃହତ୍ତର ଅକ୍ଷାର୍ଦ୍ଧର ଅନୁପାତକୁ ଇସେନ୍‌ଟ୍ରିସିଟି (Eccentricity) କୁହାଯାଏ ।

ଉପରୋକ୍ତ ସର୍ତ୍ତରୁ (Condition) ସମକୋଣୀୟ ସ୍ଥାନାଙ୍କ ପଦ୍ଧତି (Reetangular Co-ordinate System) ରେ ଗୋଟିଏ ଉପବୃତ୍ତର ସମୀକରଣ (equation of an ellipse) ନିମ୍ନମତେ ପ୍ରକାଶ କରାଯାଇପାରେ

$$\frac{x^2}{a^2}+\frac{y^2}{b^3}=1 \qquad (1.12)$$



ଚିତ୍ର (1.6)

ଯେଉଁଠାରେ x ଓ r ଉପବୃତ୍ତର ଯେ କୌଣସି ବିନ୍ଦୁର ସ୍ଥାନାଙ୍କ, $2a$ ଏବଂ $2b$ ଉପବୃତ୍ତର ବୃହତ୍ତର କ୍ଷୁଦ୍ରତର ଅକ୍ଷର ଲମ୍ବ, ଏବଂ ବୃହତ୍ତର

ଅକ୍ଷର ମଧ୍ୟବିନ୍ଦୁ ସ୍ଥାନାଙ୍କ ପଦ୍ଧତିର କେନ୍ଦ୍ର । ଧ୍ରୁବୀୟ ସ୍ଥାନାଙ୍କ ପଦ୍ଧତିରେ (Polar Co-ordinate System) ଉପବୃତ୍ତର ସମୀକରଣ (equation of an ellipse) ହେଲା—

$$r=\frac{P}{1+\epsilon\cos\theta} \qquad (1.13)$$

ଯେଉଁଠାରେ P=ଲାଟସରେକଟମ୍ (Latus-rectum) ର ଅର୍ଦ୍ଧ ଏବଂ ଗୋଟିଏ ଫୋକସ ଧ୍ରୁବୀୟ ସ୍ଥାନାଙ୍କ ପଦ୍ଧତିର କେନ୍ଦ୍ର ।

୫ । କେପଲରଙ୍କ ନିୟମାବଳୀ (Kepler's Laws)

ଜନ୍‌ସନ୍‌ସ୍ କେପଲର (Johnsons Kepler) ଗ୍ରହ ଓ ଉପଗ୍ରହମାନଙ୍କର ଗତିବିଧି ଅନୁଧ୍ୟାନ କରି କେତେକ ନିୟମ ପ୍ରକାଶ କରିଥିଲେ । ତାଙ୍କର ନାମ ଅନୁସାରେ ସେହି ନିୟମଗୁଡ଼ିକୁ କେପେଲରଙ୍କ ନିୟମ (Kepler's Laws) କୁହାଯାଏ । ତାପରେ ୧୬୮୭ ମସିହାରେ ନିଉଟନ୍ (Newton) ସୂଚାଇଲେ ଯେ ତାଙ୍କର ମହାକର୍ଷଣୀୟ ନିୟମରୁ (Gravitational Laws) କେପଲରଙ୍କ ନିୟମର ନିଗମନ (Deduction) କରାଯାଇପାରେ । ଏହି କେପଲରଙ୍କ ନିୟମାନୁସାରେ ବର୍ତ୍ତମାନ ଅନ୍ତରୀକ୍ଷ ଯାନଗୁଡ଼ିକ ଗତି କରୁଛି । ନିୟମଗୁଡ଼ିକ ନିମ୍ନରେ ପ୍ରଦତ୍ତ ହେଲା ।

ପ୍ରଥମ ନିୟମ—ସୌର ଜଗତର ଗ୍ରହଗୁଡ଼ିକ ଉପବୃତ୍ତୀୟ କକ୍ଷରେ (elliptic orbit) ରେ ଗତି କରନ୍ତି ଏବଂ ସୂର୍ଯ୍ୟ ପ୍ରତ୍ୟେକ କକ୍ଷର ଏକ ଫୋକସରେ ଅବସ୍ଥାନ କରିଥାଏ ।

ଦ୍ୱିତୀୟ ନିୟମ—ସୂର୍ଯ୍ୟ ଏବଂ ଗ୍ରହକୁ ଯୋଗ କରୁଥିବା ସରଳରେଖା ସମାନ ସମୟରେ ସମାନ କ୍ଷେତ୍ର (area) ଅତିକ୍ରମ କରେ ।

ତୃତୀୟ ନିୟମ—ଗ୍ରହମାନଙ୍କର ପରିକ୍ରମଣ ସମୟର ବର୍ଗ ସୂର୍ଯ୍ୟଙ୍କ-ଠାରୁ ସେମାନଙ୍କର ହାରାହାରି ଦୂରତାର ଘନ ସହିତ ଅନୁପାତିକ ।

ଯଦି ହାରାହାରି ମହାକର୍ଷଣୀୟ ବଳକୁ ଗ୍ରହର ହାରାହାରି କେନ୍ଦ୍ରାଭିମୁଖୀ (centripetal) ବଳ ସହିତ ସମାନ ବୋଲି ଧରି ନିଆଯାଏ, ତେବେ କେପଲରଙ୍କ ତୃତୀୟ ନିୟମ ଅତି ସହଜରେ ନିଗମନ (deduction) କରାଯାଇପାରେ ।

$$\frac{GmM_s}{r^2} = mw^2r = \frac{4\pi^2 mr}{T^2} \qquad (1.14)$$

ତେଣୁ $\frac{r^3}{T^2} = \frac{GM_s}{4\pi} =$ ଧ୍ରୁବାଙ୍କ (1.15)

ଯେଉଁଠାରେ G ମହାକର୍ଷଣୀୟ ଧ୍ରୁବାଙ୍କ, m ଗ୍ରହର ବସ୍ତୁତ୍ୱ Ms ସୂର୍ଯ୍ୟର ବସ୍ତୁତ୍ୱ r ସୂର୍ଯ୍ୟ ଓ ଗ୍ରହର ନିମ୍ନତମ ଓ ବୃହତ୍ତମ ଦୂରତାର ହାରାହାରି ଦୂରତା ଏବଂ T ଗ୍ରହର ପରିକ୍ରମଣ ସମୟ ।

ଉଦାହରଣ—

ଗୋଟିଏ ଉପଗ୍ରହର ପରିକ୍ରମଣ ସମୟ 120 ହେଲେ, ତାହାର ବୃହତ୍ତମ ଅକ୍ଷର ଦୈର୍ଘ୍ୟ ନିର୍ଣ୍ଣୟ କର ।

ସମୀକରଣ (1.14) ରୁ ମିଳେ

$$r^3 = \frac{T^2 GMe}{4\pi^2}$$

$= (120 \times 60$ ସେ$)^2 \times (6{\cdot}67 \times 10^{-11}$ ନିଉଟନ ମି²/କି: ଗ୍ରା:$) \times$ $(5.97 \times 10^{24}$ କି: ଗ୍ରା:$)/4\pi^2 = 5.11 \times 10^{20}$ ମି³

$r = 7{\cdot}99 \times 10^6$ ମି ।

୭ । ଅନ୍ତରୀକ୍ଷରେ କୃତ୍ରିମ ଉପଗ୍ରହର ଅବସ୍ଥିତି (Position of a Satellite in Space)

ଅନ୍ତରୀକ୍ଷରେ ଥିବା କୌଣସି ବସ୍ତୁର ଅବସ୍ଥିତି ଚରମ (absolute) ନୁହେଁ । ତେଣୁ କୌଣସି ବସ୍ତୁର ଅବସ୍ଥିତି ଅନ୍ୟ ଏକ ବସ୍ତୁର ଅବସ୍ଥିତି ଅନୁସାରେ ପ୍ରକାଶ କରାଯାଇଥାଏ । ସାଧାରଣତଃ ଅନ୍ତରୀକ୍ଷରେ କୌଣସି ବସ୍ତୁର ଅବସ୍ଥିତି ଦର୍ଶକ (observer) ସହିତ ଗତି କରୁଥିବା ସ୍ଥାନାଙ୍କ ପଦ୍ଧତି (co-ordinate system) ଅନୁସାରେ ପ୍ରକାଶ କରାଯାଇ ଥାଏ ।

ପୃଥିବୀ ପୃଷ୍ଠରୁ ଛଡ଼ା ଯାଇଥିବା ଏକ କୃତ୍ରିମ ଉପଗ୍ରହର ଅବସ୍ଥିତି ଓ ଗତିପଥ ଜାଣିବା ପାଇଁ ନିମ୍ନଲିଖିତ କେତୋଟି ବିଷୟ ଜାଣିବା ଦରକାର—

୧ । କୃତ୍ରିମ ଉପଗ୍ରହର ପରିକ୍ରମଣ ସମୟ ।

୨ । ପେରିଜି (Perigee) କିମ୍ବା ପୃଥିବୀର କେନ୍ଦ୍ରଠାରୁ କୃତ୍ରିମ ଉପଗ୍ରହର ନିକଟତମ ଅବସ୍ଥିତି । (ଚିତ୍ର (1.7-କ))

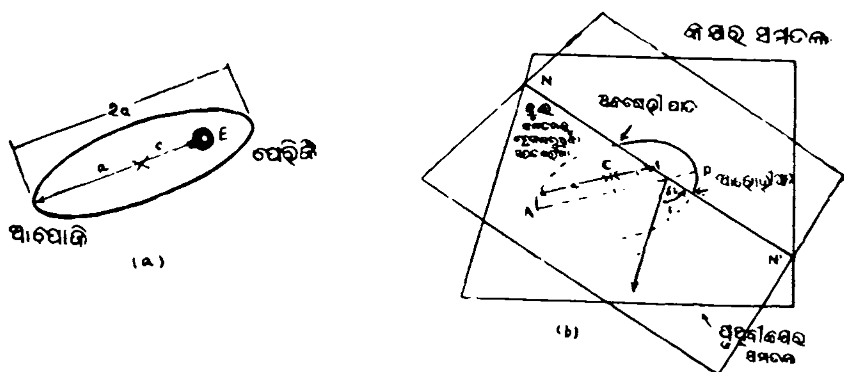
୩ । ଅପୋଜି (Apogee) କିମ୍ବା ପୃଥିବୀର କେନ୍ଦ୍ରଠାରୁ କୃତ୍ରିମ ଉପଗ୍ରହର ଦୂରତମ ଅବସ୍ଥିତି । (ଚିତ୍ର (1.7-a))

୪ । ଉପବୃତ୍ତର ଇସେନ୍‌ଟ୍ରିସିଟି ।

୫ । କୃତ୍ରିମ ଉପଗ୍ରହ କକ୍ଷର ସମତଳ ଓ ବିଷୁବ ରୈଖିକ ସମତଳ ମଧ୍ୟରେ ଥିବା କୋଣ ।

୬ । ଏହା ବ୍ୟତୀତ ଉପବୃତ୍ତର ସମ୍ପୂର୍ଣ୍ଣ ଅବସ୍ଥିତି ଜାଣିବା ପାଇଁ ଆରୋହୀପାତ କୋଣ (angle of ascending node) ଏବଂ ଉପଭୂ କୋଣ (Angle of Perigee) ଜାଣିବା ଦରକାର । (ଚିତ୍ର (1.7-b))

ଉପବୃତ୍ତୀୟ କକ୍ଷ

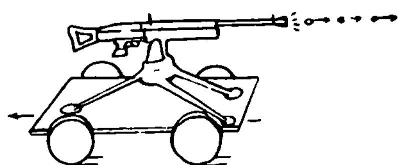


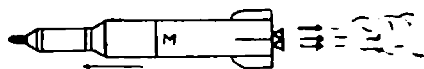
ଚିତ୍ର (1·7)

୬ । ରକେଟ ନୋଦନ (Rocket Propulsion)

ରକେଟ୍ ମେସିନ (Machine) ନିଜ ସଙ୍ଗରେ ବୋହି ନେଉଥିବା ବସ୍ତୁକୁ ନିଷ୍କାସିତ କରି ନିଜକୁ ନିଜେ ନୋଦନ କରେ (Propels) । କୌଣସି ବାହକ (Carrier) ଉପରେ ରଖା ଯାଇଥିବା ଏକ ମେସିନ ଗନକୁ (Machine gun) ମଧ୍ୟ ଏକ ପ୍ରକାର ରକେଟ କୁହାଯାଇ ପାରେ । କାରଣ ମେସିନ ଗନରୁ ଗୋଳା ବର୍ଷଣ କରାଯିବା ସମୟରେ ପ୍ରତିକ୍ରିୟା ବଳ (Reaction force) ଯୋଗୁ ବାହକଟି ବିପରୀତ ଦିଗରେ ଗତି କରିବାକୁ ଲାଗେ । ଯଦି ଗନ୍‌ରୁ ପ୍ରତି

ସେକେଣ୍ଡରେ n ଟି ଗୋଳା ବର୍ଷଣ କରାଯାଏ ଓ ପ୍ରତି ଗୋଳାର ବସ୍ତୁତ୍ୱ m ଏବଂ ପରିବେଗ u ହୁଏ ତେବେ ପ୍ରତିକ୍ରିୟା ବଳର ପରିମାଣ ହେଲା $\frac{nmu}{t}$ ଏହି ବଳ ଯୋଗୁ ବାହକଟି ବିପରୀତ ଦିଗକୁ ତ୍ୱରିତ ହେବାକୁ ଲାଗେ (ଚିତ୍ର (1.8) ଦେଖ)।





ରକେଟ ନୋଦନ ଏବଂ ପ୍ରତିକ୍ରିୟା ବଳ

ଚିତ୍ର (1.8)

ରକେଟ ଏକ ପ୍ରକାର ଅନ୍ତର୍ଦହନ (Internal Combustion engine) ଇଂଜିନ୍। ଦହନ ପାଇଁ ଦରକାର ହେଉଥିବା ସମସ୍ତ ଅମ୍ଳଜାନ ଏବଂ ରାସାୟନିକ ଇନ୍ଧନ (Chemical fuel) ରକେଟ ନିଜ ସଂଗରେ ନେଇଥାଏ। ତେଣୁ ଏହା ବାୟୁମଣ୍ଡଳ ବାହାରେ ମଧ୍ୟ ଯାଇପାରେ। ରାସାୟନିକ ଇନ୍ଧନ (Chemical fuel) ର ଦହନ (combustion) ପରେ ଉତ୍ତପ୍ତ ଗ୍ୟାସ ଅତ୍ୟନ୍ତ ଦ୍ରୁତ ବେଗରେ ନିଷ୍କାସିତ ହୁଏ। ଫଳରେ ରକେଟଟି ଆଗକୁ ତ୍ୱରିତ (Accelerate) ହୁଏ। ଯଦି Δm ପରିମାଣର ଗ୍ୟାସ ରକେଟ ପ୍ରତି u ପରିବେଗରେ Δt ସମୟରେ ରକେଟରୁ ନିଷ୍କାସିତ ହୁଏ, ତେବେ ସଂବେଗ (Momentum) ପରିବର୍ତ୍ତନର ହାର ଲକ୍ଷ୍ମ୍ୟ। ପ୍ରତିକ୍ରିୟା ବଳ F ର ପରିମାଣ ହେଲା

$$F = u\frac{\Delta m}{\Delta t} \quad (1.16)$$

ତେଣୁ ରକେଟର ତ୍ୱରଣର (acceleration) ପରିମାଣ ହେଲା

$$f = \frac{F}{M} = \frac{u}{M}\,\frac{\Delta m}{\Delta t} \quad (1.17)$$

ଯେଉଁଠାରେ M ରକେଟର ବସ୍ତୁତ୍ୱ,

ଉଦାହରଣ—

5×10^4 କି:ଗ୍ରା: ଓଜନର ଗୋଟିଏ ରକେଟ ସ୍ଥିର ଅବସ୍ଥାରୁ ଭୂଲମ୍ବ ଭାବରେ ଉପରକୁ ଉଠିବାକୁ ଲାଗିଲା। ଯଦି 500 କି:ଗ୍ରା: ଓଜନର ଗ୍ୟାସ ରକେଟ ଭିତରୁ ସେକେଣ୍ଡ ପ୍ରତି 2000 ମିଟର ବେଗରେ ବାହାରି ଆସେ ତେବେ 0, 20 ଓ 40 ସେକେଣ୍ଡ ପରେ ରକେଟର ତ୍ୱରଣ (acceleration) କେତେ ହେବ ?

ସମୀକରଣ (1.16) ରୁ ଅମେ ପାଉଁ

$$F = u\frac{\Delta m}{dt} = 2000 \text{ ମି:} \times 500 \text{ କି:ଗ୍ରା:}$$

$$= 10 \times 10^5 \text{ ନିଉଟନ}$$

ଏହି ଊର୍ଦ୍ଧ୍ୱମୁଖୀ ବଳର ପରିମାଣ ମହାକର୍ଷଣୀୟ ବଳ ଯୋଗୁ ହ୍ରାସ ହୋଇଯାଏ । ଯଦି 0, 20 ଓ 40 ସେକେଣ୍ଡ ପରେ ମହାକର୍ଷଣୀୟ ବଳର ପରିମାଣ f_0, f_{20} ଏବଂ f_{40} ହୁଏ, ତେବେ

$$f_0 = 5 \times 10^4 \text{ କି:ଗ୍ରା:} \times 9.8 \text{ ମି:}$$

$$= 49 \times 10^4 = 4.9 \times 10^5 \text{ ନିଉଟନ}$$

$$f_{20} = (5-1) \times 10^4 \text{ କି:ଗ୍ରା:} \times 9{\cdot}8 \text{ ମି:}$$

$$= 3.92 \times 10^5 \text{ ନିଉଟନ}$$

$$f_{40} = (5-2) \times 10^4 \text{ କି:ଗ୍ରା:} \times 9.8 \text{ ମି:}$$

$$= 2.94 \times 10^5 \text{ ନିଉଟନ}$$

ତେଣୁ 0, 20, 40 ସେକେଣ୍ଡ ପରେ ଊର୍ଦ୍ଧ୍ୱମୁଖୀ ବଳ ଓ ତ୍ୱରଣର ପରିମାଣ ହେଲା

$$F_0 = F - f_0 = 5.1 \times 10^5 \text{ ନିଉଟନ}$$

$$F_{20} = F - f_{20} = 6.08 \times 10^5 \text{ ନିଉଟନ}$$

$$F_{40} = F - f_{40} = 7.06 \times 10^5 \text{ ନିଉଟନ}$$

$$a_0 = \frac{F_0}{m_0} = \frac{5.1 \times 10^5 \text{ ନିଉଟନ}}{5 \times 10^4 \text{ କି:ଗ୍ରା:}} = 10.2 \text{ ମି/ସେ}^2$$

$$a_{20} = \frac{6.08 \times 10^5}{4 \times 10^4} = 15.2 \text{ ମି/ସେ}^2$$

$$a_{40} = \frac{7.06 \times 10^5}{3 \times 10^4} = 23{\cdot}5 \text{ ମି/ସେ}^2$$

୮ । ରକେଟର ଛିନ୍ନ ବା ଦଗ୍ଧୀଭୂତ ପରିବେଗ (**Cut off or burnout velocity**)

ଅନ୍ତରୀକ୍ଷରେ ରକେଟର ପରିବେଗ ବଢ଼ିବା ସଙ୍ଗେ ସଙ୍ଗେ ନିଜ ଦେହରେ ସଞ୍ଚିତ ଥିବା ଇନ୍ଧନର ପରିମାଣ କ୍ରମେ ହ୍ରାସ ହେଉଥାଏ । ରକେଟରେ

ସଞ୍ଚିତ ଥିବା ସମସ୍ତ ଇନ୍ଧନ ଶେଷ ହେବା ସମୟରେ ରକେଟଟି ଯେଉଁ ପରିବେଗରେ ଯାଉଥାଏ, ତାହାକୁ ଛିନ୍ନ ପରିବେଗ (Cut off Velocity) କୁହାଯାଏ । ଏକ ରକେଟର ଗତିପଥର ନିର୍ଭୁଲତା (accuracy) ଓ ଦକ୍ଷତା (efficiency) ଏହି ଛିନ୍ନ ପରିବେଗ ଉପରେ ନିର୍ଭର କରେ ।

ଏହି ଛିନ୍ନ ପରିବେଗ ନିର୍ଣ୍ଣୟ କରିବା ପାଇଁ ମନେକର ଗୋଟିଏ ରକେଟ ଭୂପୃଷ୍ଠରୁ ଭୂଲମ୍ବ (vertically) ଭାବରେ ସରଳରେଖାରେ ଉପରକୁ ଉଠିବାକୁ ଲାଗିଲା । ତେବେ ଯେ କୌଣସି ସମୟରେ
ଊର୍ଦ୍ଧ୍ୱମୁଖୀ ବଳ−ମହାକର୍ଷଣୀୟ ବଳ=ରକେଟର ବସ୍ତୁତ୍ୱ×ତ୍ୱରଣ

 କିମ୍ବା $-\bar{v}_e = \frac{dm}{dt} - mg = m\frac{dv}{dt}$ (1.18)

ଏଠାରେ ସମୟ ବଢ଼ିବା ସଙ୍ଗେ ସଙ୍ଗେ m ହ୍ରାସ ହେଉଥିବା ଯୋଗୁ ଊର୍ଦ୍ଧ୍ୱମୁଖୀ ବଳକୁ ନେଗେଟିଭ କରାଗଲା ।

ଯେଉଁଠାରେ $\bar{v}_e$=ନିଷ୍କାସିତ ଗ୍ୟାସର ହାରାହାରି ପରିବେଗ

m=ରକେଟର ବସ୍ତୁତ

$\bar{g}$=ହାରାହାରି ମହାକର୍ଷଣୀୟ ତ୍ୱରଣ

v=ରକେଟର ପରିବେଗ

ଯଦି t_b ସମୟରେ ରକେଟର ଇନ୍ଧନ ଶେଷ ହୋଇଯାଏ ଓ ସେହି ସମୟରେ ରକେଟର ବସ୍ତୁତ୍ୱ m_b ଓ ପରିବେଗ u_b ହୁଏ, ତେବେ ସମୀକରଣ (1·18) ରୁ ସମାକଳନ (Integrate) କରି ଆମେ ପାଉଁ

$$\int_0^{u_b} dv = -\bar{v}_e \int_{m_0}^{m_b} \frac{dm}{m} - \bar{g} \int_0^{t_b} dt$$

କିମ୍ବା $U_b = -\bar{v}_e\ [\log m_b - \log m_0] - \bar{g}\, tb$

$$= \bar{v}_e \log \frac{m_0}{m_b} - \bar{g}\, tb \qquad (1.19)$$

୯ । ବହୁ ସ୍ତର ରକେଟ (Multi Stage Rocket)

ରକେଟ ନିଜ ସଙ୍ଗରେ ତାର ଇନ୍ଧନ ଓ ଅମ୍ଳଜାନ ବୋହି ନେଉଥିବାରୁ ତାର ଆକାର ଓ ବସ୍ତୁତ୍ୱ ଅଧିକ ହୋଇଥାଏ । ଇନ୍ଧନର କିଛି ଅଂଶ ସରି ଆସିବା ପରେ ରକେଟ ଭିତରେ ଯେଉଁ ଶୂନ୍ୟ ଅଂଶ ରହିଯାଏ, ତାହା ରକେଟ

ନୋଦନ (Propulsion) ପାଇଁ ଦରକାରରେ ଆସେ ନାହିଁ । ବରଂ ତାହା ରକେଟର ତ୍ୱରଣ (acceleration) ହ୍ରାସ କରିଦିଏ । ପରୀକ୍ଷାରୁ ଜଣାଯାଏ, ବର୍ତ୍ତମାନ ରକେଟ ନୋଦନ ପାଇଁ ଯେଉଁ ଇନ୍ଧନ ବ୍ୟବହୃତ ହେଉଛି, ତାହା ଦ୍ୱାରା ଏକ ସ୍ତର ରକେଟର ପରିବେଗ 7.62 କି:ମି:/ସେ ରୁ ବେଶୀ ହୋଇ ପାରିବ ନାହିଁ। ରକେଟର ପରିବେଗ 7.62 କି:ମି:/ସେ ରୁ ବେଶୀ ନ ହେଲେ ତାହା ଏକ ସାଟେଲାଇଟକୁ କକ୍ଷରେ ରଖି ପାରିବ ନାହିଁ କି ପୃଥିବୀର ମହାକର୍ଷଣୀୟ କ୍ଷେତ୍ର (gravitational field) କୁ ଅତିକ୍ରମ କରି ପାରିବ ନାହିଁ ।

ଏହି ଅସୁବିଧା ଦୂର କରିବା ପାଇଁ ବହୁ ସ୍ତର ରକେଟର ଉଦ୍ଭାବନ ହେଲା । ଏହା ଭିତରେ କେତେଗୁଡ଼ିଏ ବିଭାଗ (Section) ଥାଏ । ପ୍ରତି ବିଭାଗ ଅନ୍ୟଠାରୁ ପୃଥକ ଏବଂ ପ୍ରତ୍ୟେକରେ ରକେଟ ନୋଦନ ପାଇଁ ଦରକାର ହେଉଥିବା ଇନ୍ଧନ ଓ ଅକ୍ସିଜେନ ଥାଏ । ରକେଟଟି ନୋଦିତ ହେବାର କିଛି ସମୟ ପରେ ଯେତେବେଳେ ପ୍ରଥମ ବିଭାଗରୁ ଇନ୍ଧନ ସରିଯାଏ, ପ୍ରଥମ ବିଭାଗଟି ରକେଟରୁ ଅଲଗା ହୋଇଯାଏ । ତେଣୁ ରକେଟଟି ହାଲୁକା ହୋଇଯାଏ ଓ ଦ୍ୱିତୀୟ ବିଭାଗରେ ଥିବା ଇନ୍ଧନ ଦ୍ୱାରା ଏହା ଅଧିକ ତ୍ୱରିତ ହୋଇପାରେ । ଏହିପରି ଭାବରେ 3 ସ୍ତର ରକେଟ ମଧ୍ୟ ବ୍ୟବହାର କରାଯାଉଛି । କିନ୍ତୁ ବହୁସ୍ତର ରକେଟ ତିଆରି କରିବା ବଡ଼ ଜଟିଳ ।

୧୦ । ରକେଟ ପାଇଁ ଇନ୍ଧନ (Fuel for rocket)

ବର୍ତ୍ତମାନ ରକେଟ ସବୁ ପ୍ରାୟ ରାସାୟନିକ ଇନ୍ଧନ (Chemical fuel) ସାହାଯ୍ୟରେ ଚାଲୁଛି । (ଚିତ୍ର (1.9-a, b)) । ଏହାବ୍ୟତୀତ ଅନ୍ୟ କେତେ ଉପାୟରେ ରକେଟ ନୋଦନ କରିବା ପାଇଁ ଚେଷ୍ଟା କରାଯାଉଛି ଓ ଅନ୍ୟ କେତେକର କଳ୍ପନା ମଧ୍ୟ କରାଯାଉଛି । ସେମାନଙ୍କ ମଧ୍ୟରୁ କେତୋଟି ତଳେ ଦିଆଗଲା—

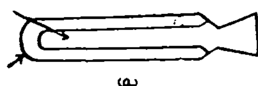
(1) ନ୍ୟୁକ୍ଲିୟାର (Nuclear reaction) ପ୍ରକ୍ରିୟା ପ୍ରଣାଳୀ ଅନୁସାରେ ଆଇସୋଟୋପ କ୍ଷୟରୁ କିମ୍ବା ନ୍ୟୁକ୍ଲିୟାର ପ୍ରକ୍ରିୟାରୁ ଉତ୍ପନ୍ନ ହେଉଥିବା ଶକ୍ତି ଦ୍ୱାରା କୌଣସି ଇନ୍ଧନକୁ ଉତ୍ତପ୍ତ କରି ରକେଟ ଦେହରୁ ନିଷ୍କାସନ କରି ଦିଆଯାଇ ରକେଟ ନୋଦନ କରାଯାଏ ।

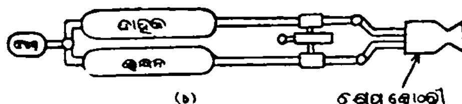
(2) ଆୟନ ନୋଦନ ପ୍ରଣାଳୀ (Ion propulsion method) ଅନୁସାରେ କୌଣସି ପଦାର୍ଥର ଗ୍ୟାସ ଆୟନ ସୃଷ୍ଟି କରାଯାଏ । ତାହାକୁ

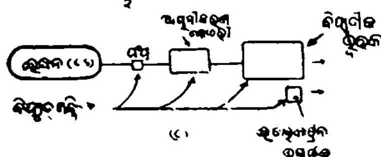
ଉପଯୁକ୍ତ ବିଦ୍ୟୁତ କ୍ଷେତ୍ର ଦ୍ୱାରା ତ୍ୱରିତ କରାଯାଇ ନିଷ୍କାସନ କରି ଦିଆଯାଏ । (ଚିତ୍ର (1.9-c))

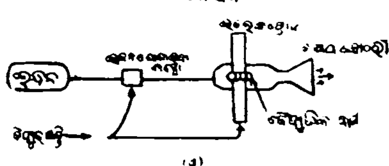
(3) ଅର୍କ ତାପନ ପ୍ରଣାଳୀ (Arc heating method) ବିଦ୍ୟୁତ ଶକ୍ତି ଦ୍ୱାରା ଅର୍କ ସୃଷ୍ଟି କରି କୌଣସି ପଦାର୍ଥକୁ ଉତ୍ତପ୍ତ ଗ୍ୟାସରେ ପରିଣତ କରି ବାହାର କରି ଦିଆଯାଏ । (ଚିତ୍ର (1·9-d))

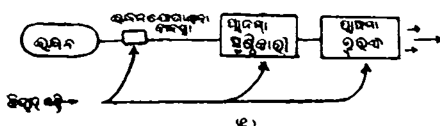
(4) ମାଗ୍ନେଟୋପ୍ଲାଜମା ନୋଦନ ପ୍ରଣାଳୀ (Magnetoplasma Propulsion method) ଦ୍ୱାରା କୌଣସି ଗ୍ୟାସକୁ ଉତ୍ତପ୍ତ କରି ପ୍ଲାଜମାରେ ପରିଣତ କରାଯାଏ ଓ ଉପଯୁକ୍ତ ଚୁମ୍ବକ କ୍ଷେତ୍ର ଦ୍ୱାରା ଅୟନଗୁଡ଼ିକ ରକେଟ ଦେହରୁ ନିଷ୍କାସିତ କରାଇ ପ୍ରତିକ୍ରିୟା ବଳ ସୃଷ୍ଟି କରାଯାଏ । (ଚିତ୍ର (1.9-e))











ରକେଟ୍‌ରେ ବ୍ୟବହାର ହେଉଥିବା, ବ୍ୟବହାର ପାଇଁ କଳ୍ପନା କରାଯାଉଥିବା ବିଭିନ୍ନ ପ୍ରକାର ନୋଦକର ଚିତ୍ର

ଚିତ୍ର (1.9)

ଯେଉଁ ରକେଟ ବିଦ୍ୟୁତ ଶକ୍ତି ସାହାଯ୍ୟରେ ନୋଦିତ ହୁଏ, ସେଥିରେ ପ୍ରଚୁର ବିଦ୍ୟୁତ ଶକ୍ତି ସଞ୍ଚିତ କରି ରଖିବା ପାଇଁ ତାର ବସ୍ତୁତ୍ୱ ବେଶୀ ହୋଇଥାଏ । କିନ୍ତୁ ରାସାୟନିକ ନୋଦକ ବ୍ୟବହାର କରାଯାଉଥିବା ରକେଟ ହାଲୁକା ହୋଇଥାଏ ।

ଗୋଟିଏ ରକେଟର କାର୍ଯ୍ୟକାରିତା ତାର ଆପେକ୍ଷିକ ଆବେଗ (Specific impulse) ଉପରେ ନିର୍ଭର କରେ । ସୃଷ୍ଟି ହେଉଥିବା ପ୍ରତିକ୍ରିୟା ବଳ ଓ ସେକେଣ୍ଡରେ ଖର୍ଚ୍ଚ ହେଉଥିବା ନୋଦକର ବସ୍ତୁତ୍ୱର ଅନୁପାତକୁ ଆପେକ୍ଷିକ ଆବେଗ (Specific impulse) କୁହାଯାଏ । ସାଧାରଣତଃ ବିଦ୍ୟୁତ ଚାଳିତ ରକେଟର ଆପେକ୍ଷିକ ଆବେଗର ପରିମାଣ ବେଶୀ । କିନ୍ତୁ ରାସାୟନିକ ରକେଟ ହାଲୁକା । ତେଣୁ ଏହାର ପ୍ରତିକ୍ରିୟା ବଳ ଓ ବସ୍ତୁତ୍ୱର ଅନୁପାତ ବେଶୀ । ସେଥିପାଇଁ ଏହା ଶୀଘ୍ର ତ୍ୱରିତ ହୋଇପାରେ ।

ଗ୍ରହାନ୍ତର ପର୍ଯ୍ୟଟନ ପାଇଁ ଭବିଷ୍ୟତରେ ଯେଉଁ ରକେଟ ତିଆରି ହେବ, ତାହା ପ୍ରଥମେ ରାସାୟନିକ ନୋଦକ ଦ୍ୱାରା ତ୍ୱରିତ ହେବ । ଅନ୍ତରୀକ୍ଷରେ ଯାତାୟତ ପାଇଁ ରକେଟର ତ୍ୱରଣ ବିଶେଷ ଦରକାର ନ ଥିବାରୁ ଦୀର୍ଘସ୍ଥାୟୀ ଉଚ୍ଚ ଆପେକ୍ଷିକ ଆବେଗ ବିଶିଷ୍ଟ ନିଉକ୍ଲିୟାର ନୋଦକ ବ୍ୟବହାର କରାଯିବ ।

ପ୍ରଶ୍ନମାଳା

1. ଗୋଟିଏ ସାଟେଲାଇଟ ତାର କକ୍ଷର କେଉଁଠାରେ ଥିବା ସମୟରେ ତାର ବେଗ ନିମ୍ନତମ ?
2. ପୃଥିବୀର ଯେ କୌଣସି ଦ୍ରାଘିମା (Longitude) ଏକ ସାଟେଲାଇଟର କକ୍ଷ ହୋଇ ପାରିବ କି ନାହିଁ ଏବଂ କାହିଁକି ?
3. ପୃଥିବୀର ଯେ କୌଣସି ଅକ୍ଷାଂଶ ଏକ ସାଟେଲାଇଟର କକ୍ଷ ହୋଇ ପାରିବ କି ନାହିଁ ଏବଂ କାହିଁକି ?
4. ପୃଥିବୀ ଜୁଲାଇ ମାସରେ ସୂର୍ଯ୍ୟଠାରୁ ସବୁଠାରୁ ଦୂରରେ ଅବସ୍ଥାନ କରେ । ତେଣୁ ଦକ୍ଷିଣ ଗୋଲାର୍ଦ୍ଧର ଶୀତ ଋତୁ ଉତ୍ତର ଗୋଲାର୍ଦ୍ଧ ତୁଳନାରେ ଅଧିକ ଲମ୍ବା । କେପଲରଙ୍କ ଦ୍ୱିତୀୟ ନିୟମାନୁସାରେ ଏହି ସତ୍ୟକୁ ପ୍ରତିପାଦନ କର ।

5. ଯଦି ବାୟୁମଣ୍ଡଳ ସହିତ ଘର୍ଷଣ ଯୋଗୁ ସାଟେଲାଇଟର ଶକ୍ତି ହ୍ରାସ ହୁଏ, ତେବେ ବୁଝାଇ ଦିଅ କିପରି ଏକ ସାଟେଲାଇଟ ଘର୍ଷଣ ଯୋଗୁ ଅଧିକ ପରିବେଗରେ ପୃଥିବୀର ନିକଟତର କକ୍ଷରେ ବୁଲେ ।
6. କୌଣସି ସାଟେଲାଇଟ ପୃଥିବୀ ଚାରିପାଖେ ବୁଲି ବୁଲି ପୃଥିବୀ ପୃଷ୍ଠକୁ ଆସିପାରେ ନାହିଁ, ବାଟରେ ଜଳିଯାଏ । କିନ୍ତୁ ଏହା ବୁଲି ବୁଲି ପୃଥିବୀଠାରୁ ଦୂରକୁ ଚାଲି ଯାଇପାରେ କାହିଁକି ?
7. ଦୁଇଟି ଅନ୍ତରୀକ୍ଷ ଯାନ ପୃଥିବୀ ଚାରିପାଖେ ଏକ ନିର୍ଦ୍ଦିଷ୍ଟ କକ୍ଷରେ ବୁଲୁଛନ୍ତି । ଏହି ବୁଲୁଥିବା ଦୁଇଟି ଅନ୍ତରୀକ୍ଷ ଯାନ A ଓ B ରୁ A ରେ ଥିବା ଏକ ମହାକାଶ ଯାତ୍ରୀ (Astronaut) ଅନ୍ତରୀକ୍ଷ ଯାନ B କୁ କିପରି ଯାଇ ପାରିବ ?
8. ଗୋଟିଏ ସାଟେଲାଇଟରେ ଯଦି ଏକ ସୋଲ ଖଣ୍ଡକୁ ପାଣିରେ ବୁଡ଼ାଇ ଦିଆଯାଏ ତାହା ଭାସିବ ନା ବୁଡ଼ିବ ?
9. ପ୍ଲାଜମାର ନିଉକ୍ଲିୟାର ସଂଯୋଜନ ପ୍ରକ୍ରିୟାରୁ ଉତ୍ପନ୍ନ ହେଉଥିବା ଶକ୍ତିକୁ ଯଦି ବିଦ୍ୟୁତ ଶକ୍ତିରେ ପରିଣତ କରାଯାଇପାରେ ତେବେ ଏହା ଦ୍ୱାରା ରକେଟ ନୋଦିତ କରାଯାଇ ପାରିବାର ସମ୍ଭାବନା ଅଛି କି ?
10. ଯଦି ଚନ୍ଦ୍ରର ବ୍ୟାସ ପୃଥିବୀ ବ୍ୟାସର ଚାରିଭାଗରୁ ଏକ ଭାଗ ହୁଏ ଏବଂ ମହାକର୍ଷଣୀୟ ତ୍ୱରଣ ପୃଥିବୀର ମହାକର୍ଷଣୀୟ ତ୍ୱରଣର ଏକ ପଞ୍ଚମାଂଶ ହୁଏ, ତେବେ ଚନ୍ଦ୍ରର ବସ୍ତୁତ୍ୱ କେତେ ? ($\frac{1}{8}$ ପୃଥିବୀର ବସ୍ତୁତ୍ୱ)
11. ଯଦି ଚନ୍ଦ୍ରର ବସ୍ତୁତ୍ୱ ଦୁଇଗୁଣ ହୋଇଯାଏ ଏବଂ ତାହାର କକ୍ଷର ପରିବର୍ତ୍ତନ ନ ହୁଏ, ତେବେ ଚନ୍ଦ୍ରର ପରିକ୍ରମଣର ସମୟ କେତେ ହେବ ?
12. ମନେକର ପୃଥିବୀ 150×10^6 କି:ମି: ବ୍ୟାସାର୍ଦ୍ଧ ବିଶିଷ୍ଟ ଏକ ବୃତ୍ତାକାର କକ୍ଷରେ ସୂର୍ଯ୍ୟ ଚାରିପାଖରେ 30 କି:ମି: ବେଗରେ ବୁଲେ, ତେବେ ପୃଥିବୀର ସୂର୍ଯ୍ୟ ଅଡ଼କୁ ତ୍ୱରଣ କେତେ ? ଏହି ତ୍ୱରଣରୁ ସୂର୍ଯ୍ୟର ବସ୍ତୁତ୍ୱ ନିର୍ଣ୍ଣୟ କର ।
13. ଯଦି ବୁଧ (Mercury) ଶୁକ୍ର (Venus) ମଙ୍ଗଳ (Mars), ବୃହସ୍ପତି ପ୍ରଭୃତି ଗ୍ରହର ପରିକ୍ରମଣ ସମୟ ଯଥାକ୍ରମେ 0.741, 0.617, 1.88 ଏବଂ 11.9 ବର୍ଷ ହୁଏ, ତେବେ ସେମାନଙ୍କର ସୂର୍ଯ୍ୟଠାରୁ ହାରାହାରି ଦୂରତା

ଖଗୋଳୀୟ ଏକକ (Astronomical Unit) ରେ ପ୍ରକାଶ କର (ଖଗୋଳୀୟ ଏକକ=ସୂର୍ଯ୍ୟଠାରୁ ପୃଥିବୀର ଦୂରତା) (0.39, 0.72, 1.52, 5.2) ।

14. ବୃହସ୍ପତି (Jupiter) ର ଏକ ସାଟେଲାଇଟର ପରିକ୍ରମଣ ସମୟ 16.7 ଦିନ ଏବଂ କକ୍ଷର ହାରାହାରି ବ୍ୟାସ ବୃହସ୍ପତି ବ୍ୟାସର 27 ଗୁଣ । ଯଦି ବୃହସ୍ପତିର ବ୍ୟାସ 7.4×10^4 କି:ମି: ହୁଏ, ତେବେ ତାହାର ବସ୍ତୁତ୍ୱ କେତେ ?

15. ପୃଥିବୀର ଘୂର୍ଣ୍ଣନ ଯୋଗୁ ବିଷୁବରେଖା ଉପରେ ଅବସ୍ଥିତ ଏକ ସ୍ଥାନ ଘଣ୍ଟାକୁ 1600 କି:ମି: ବେଗରେ ଗତିକରେ । ଯଦି ବୃହସ୍ପତିର ବ୍ୟାସ ପୃଥିବୀ ବ୍ୟାସର 11 ଗୁଣ ହୁଏ, ତେବେ ବୃହସ୍ପତିର ବିଷୁବରେଖା ଉପରେ ଅବସ୍ଥିତ ଏକ ବିନ୍ଦୁର ବେଗ କେତେ ?

16. ମହାକର୍ଷଣୀୟ ବଳ $\propto \frac{1}{r^2}$ ହେଲେ ପ୍ରମାଣ କର ଯେ (a) ବୃତ୍ତାକାର କକ୍ଷରେ ବୁଲୁଥିବା ଏକ ସାଟେଲାଇଟର ସରଳ ରୈଖିକ ପରିବେଗ $V = R\left(\frac{g_0}{r}\right)^{\frac{1}{2}}$ (ଯେଉଁଠାରେ R=ପୃଥିବୀର ବ୍ୟାସାର୍ଦ୍ଧ) (b) ଯଦି ପୃଥିବୀର କେନ୍ଦ୍ରଠାରୁ R ଦୂରରେ ବୃତ୍ତାକାର କକ୍ଷରେ ବୁଲିବା ପାଇଁ ଏକ ସାଟେଲାଇଟର ସରଳ ରୈଖିକ ପରିବେଗ V_0 ହେବା ଦରକାର ତେବେ ପ୍ରମାଣ କର ଯେ—

$$V_0 = (g_0 R)^{\frac{1}{2}} = V\left(\frac{r}{R}\right)^{\frac{1}{2}}$$

(c) ଯଦି ଗୋଟିଏ ସାଟେଲାଇଟର ପରିକ୍ରମଣ ସମୟ T ହୁଏ, ତେବେ ପ୍ରମାଣ କର—

$$T = \left(\frac{2\pi r}{V}\right)\left(\frac{2\pi}{R g_0^{\frac{1}{2}}}\right) r^{\frac{3}{2}}$$

ଏବଂ $$V = g_0^{\frac{1}{2}} R^{\frac{2}{3}} \left(\frac{2\pi}{T}\right)^{\frac{1}{2}}$$

17. ଗୋଟିଏ ସାଟେଲାଇଟ ପୃଥିବୀଠାରୁ କେତେ ଉଚ୍ଚରେ ପରିକ୍ରମଣ କଲେ ତାହା ବିଷୁବରେଖା ଉପରେ ଅବସ୍ଥିତ ଏକ ସ୍ଥାନ ଉପରେ ସବୁବେଳେ ରହୁଥିବ ?

18. ପୂର୍ବ କିମ୍ବା ପଶ୍ଚିମ ଦିଗକୁ ନିକ୍ଷେପ କରାଯାଇଥିବା ଏକ ପ୍ରକ୍ଷେପ୍ୟ (Projectile) ଉପରେ ପୃଥିବୀ ଘୂର୍ଣ୍ଣନର କି ପ୍ରଭାବ ପଡ଼େ ?

19. ଗୋଟିଏ ପ୍ରକ୍ଷେପ୍ୟ ପୃଥିବୀ ପୃଷ୍ଠ ପ୍ରତି କେତେ ଆପେକ୍ଷିକ ବେଗରେ ଭୂସମାନ୍ତର ଦିଗରେ (Horizontally) ନିକ୍ଷେପ କରାଗଲେ ତାହା ବୃତ୍ତାକାର କକ୍ଷରେ ପୃଥିବୀ ଚତୁଃପାଖରେ ବୁଲିବ ?

20. ପ୍ରମାଣ କର, ଭୂଲମ୍ବ ଭାବରେ ଉପରକୁ ଯାଉଥିବା ଗୋଟିଏ ରକେଟର ବେଗ ମହାକର୍ଷଣ ବଳ ଯୋଗୁ ପୃଥିବୀ ପୃଷ୍ଠରେ ସେକେଣ୍ଡକୁ ଘଣ୍ଟାକୁ 32 କି:ମି: ପରିମାଣରେ ହ୍ରାସ ହୁଏ ।

21. ଗୋଟିଏ ଦୁଇସ୍ତର ବିଶିଷ୍ଟ ରକେଟର ପ୍ରଥମ ଦ୍ୱିତୀୟ ସ୍ତରର ଇନ୍ଧନ ଶେଷ ହେବା ସମୟରେ ବସ୍ତୁତ୍ୱର ଅନୁପାତ ଯଦି ଯଥାକ୍ରମେ R_1 ଏବଂ R_2 ଓ ଉଭୟ ସ୍ତରରେ ନିଷ୍କାସିତ ଗ୍ୟାସର ପରିବେଗ Ve ହୁଏ, ତେବେ ପ୍ରମାଣ କର ଯେ ଛିନ୍ନ ପରିବେଗ (burnout velocity) $V_b=Ve \log R_1 R_2$ ।

22. ଯଦି 9.1×10^3 କି:ଗ୍ରା: ବସ୍ତୁତ୍ୱ ବିଶିଷ୍ଟ ଏକ ରକେଟ 1.3×10^3 ମି/ସେ ବେଗରେ ଓ 150 କି:ଗ୍ରା:/ସେ ପରିମାଣର ବସ୍ତୁତ୍ୱର ଗ୍ୟାସ ନିଷ୍କାସନ କରେ ତେବେ (a) ରକେଟ ଉପରେ ପ୍ରତିକ୍ରିୟା ବଳର ପରିମାଣ କେତେ ? (b) ଯଦି 20 ସେକେଣ୍ଡ ପରେ ରକେଟର ଇନ୍ଧନ ଶେଷ ହୋଇଯାଏ ଓ ରକେଟଟି ଭୂଲମ୍ବ ଭାବେ ଯାଉଥାଏ, ତେବେ ଛିନ୍ନ ପରିବେଗ (Burnout Velocity) ର ପରିମାଣ କେତେ ?



ଦ୍ୱିତୀୟ ଅଧ୍ୟାୟ

ଆପେକ୍ଷିକ ତତ୍ତ୍ୱ

(Theory of Relativity)

ବିଂଶ ଶତାବ୍ଦୀର ପ୍ରଥମ ଭାଗରେ ଅଲବାର୍ଟ ଆଇନ୍‌ଷ୍ଟାଇନ୍ ଆଧୁନିକ ଆପେକ୍ଷିକ ତତ୍ତ୍ୱର ଉଦ୍‌ଭାବନ କରିଥିଲେ । ଏହି ତତ୍ତ୍ୱ ସପ୍ତଦଶ ଶତାବ୍ଦୀର ଆଇଜାକ୍ ନିଉଟନ୍‌ଙ୍କ ପ୍ରମୁଖରିତ ଗତିତତ୍ତ୍ୱକୁ କେତେକାଂଶରେ ବିରୁଦ୍ଧାଚରଣ କଲା । ବିଶ୍ୱର କୌଣସି ପଦାର୍ଥର ଚରମ ଅବସ୍ଥିତି ନିର୍ଣ୍ଣୟ କରିବାକୁ ହେଲେ ତ୍ରିପରିସର ଯୁକ୍ତ ବିସ୍ତୃତି (Three dimensional space) ଯଥେଷ୍ଟ ନୁହେଁ । ସମୟକୁ ଏକ ପରିସର ଭାବେ ଗ୍ରହଣ କଲେ ବିଶ୍ୱର ସମୟ-ସ୍ଥିତି ଜନିତ ପ୍ରକୃତି ନିର୍ଦ୍ଧାରଣ କରାଯାଇପାରେ । ଏହି ତତ୍ତ୍ୱ ଅନୁଯାୟୀ କୌଣସି ବସ୍ତୁର ବେଗ ଆଲୋକର ବେଗଠାରୁ ବେଶୀ ହୋଇପାରେ ନାହିଁ । ଆଇନ୍‌ଷ୍ଟାଇନ୍‌ଙ୍କ ଆପେକ୍ଷିକ ତତ୍ତ୍ୱରୁ ପ୍ରମାଣ କରାଯାଇପାରେ ଯେ ବସ୍ତୁ ଓ ଶକ୍ତି ମଧ୍ୟରେ କୌଣସି ପ୍ରଭେଦ ନାହିଁ । ବସ୍ତୁ ବିନାଶ ହେଲେ ଶକ୍ତିରେ ପରିଣତ ହୁଏ ଓ ଶକ୍ତି ବିନାଶ ହୋଇ ବସ୍ତୁରେ ପରିଣତ ହୋଇପାରେ । ଏହି ତତ୍ତ୍ୱର ଗାଣିତିକ ସୂତ୍ର ବଡ଼ ଜଟିଳ । ତେଣୁ ଏଠାରେ ସେ ସବୁ ସୂତ୍ରର ଆଲୋଚନା ନ କରି ଯେଉଁ କେତୋଟି ପରୀକ୍ଷା ଦ୍ୱାରା ଏହି ଆପେକ୍ଷିକ ତତ୍ତ୍ୱ ଉଦ୍‌ଭାବନ ହୋଇ ପାରିଲା, ସେହି ପରୀକ୍ଷା ଓ ସେଥିରୁ ମିଳିଥିବା ସତ୍ୟତା ବିଷୟରେ ଆଲୋଚନା କରିବା ।

୧ । କାଳ୍ପନିକ ଇଥର

ଆମେ ଜାଣୁ ଆଲୋକ ଏକ ପ୍ରକାର ଶକ୍ତି ଓ ଏହା ଏକ ନିର୍ଦ୍ଦିଷ୍ଟ ପରିବେଗରେ ଏକ ସ୍ଥାନରୁ ଅନ୍ୟ ସ୍ଥାନକୁ ସରଳରେଖାରେ ଗତି କରିପାରେ । ଏହା ସୂର୍ଯ୍ୟ ଠାରୁ ପୃଥିବୀକୁ ଆସିବାକୁ ପ୍ରାୟ ୫ ମିନିଟ ନିଏ । ଆଲୋକ ସୂର୍ଯ୍ୟଠାରୁ ପୃଥିବୀକୁ କିପରି ଆସେ ବା ଆଲୋକ ଏକ ସ୍ଥାନରୁ ଅନ୍ୟ ସ୍ଥାନକୁ କିପରି ଯାଏ, ଏହି ବିଷୟ ବିଚାର କଲାବେଳେ କେତେଗୁଡ଼ିଏ ପ୍ରଶ୍ନ ମନରେ

ଉଠେ : ଯଥା—ଆଲୋକ ଏକ ସ୍ଥାନରୁ ଅନ୍ୟ ସ୍ଥାନକୁ ଗତି କରିବା ସମୟରେ ଶକ୍ତି କିପରି ଓ କେଉଁଠାରେ ସଞ୍ଚିତ ହୋଇ ରହେ ଓ କାହାଦ୍ୱାରା ଏହି ଶକ୍ତି ଏକ ସ୍ଥାନରୁ ଅନ୍ୟ ସ୍ଥାନକୁ ଯାଏ ? ଏହିସବୁ ପ୍ରଶ୍ନର ସମାଧାନ କରିବାକୁ ଯାଇ ନିଉଟନ୍ ପ୍ରଥମେ ଆଲୋକର ତତ୍ତ୍ୱ (Theory) ପ୍ରକାଶ କରିଥିଲେ । ତାଙ୍କ ତତ୍ତ୍ୱ ଅନୁସାରେ ପ୍ରତ୍ୟେକ ଦୀପ୍ତ ବସ୍ତୁ (Luminous body) ଦେହରୁ ପ୍ରତି ମୁହୂର୍ତ୍ତରେ ପ୍ରତ୍ୟେକ ଦିଗକୁ ଅସଂଖ୍ୟ ଦୀପ୍ତ କଣିକା (Luminous corpuscles) ଉତ୍ସର୍ଜିତ ହେଉଥାଏ । ଏହି ଦୀପ୍ତ କଣିକାଗୁଡ଼ିକ ପ୍ରତି ସେକେଣ୍ଡରେ 3×10^{10} ସେ:ମି: ପରିବେଗରେ ଗତି କରନ୍ତି । ଏହାକୁ ନିଉଟନ୍‌ଙ୍କ କଣିକା ତତ୍ତ୍ୱ କହନ୍ତି । ଏହି ତତ୍ତ୍ୱ ସାହାଯ୍ୟରେ ଆଲୋକର କେତେଗୁଡ଼ିଏ ଧର୍ମ ଅତି ସହଜରେ ବୁଝାଇ ଦିଆଗଲା । କିନ୍ତୁ ଅନ୍ୟ କେତେଗୁଡ଼ିଏ ଧର୍ମ ବୁଝାଇ ହେଲା ନାହିଁ । ସେଗୁଡ଼ିକରୁ କେତେକ ହେଲା ବ୍ୟତିକରଣ (Interference), ବିବର୍ତ୍ତନ (Diffraction) ଏବଂ ପାର୍ଶ୍ୱୀକରଣ (Polarisation) ପ୍ରକ୍ରିୟା ।

ଏହି ଧର୍ମଗୁଡ଼ିକ ବୁଝାଇବା ପାଇଁ ହାଇଜେନସ (Huygens) ପ୍ରକାଶ କଲେ, ଯେପରି ଧ୍ୱନି ଏକ ସ୍ଥାନରୁ ଅନ୍ୟ ସ୍ଥାନକୁ ତରଙ୍ଗ ସାହାଯ୍ୟରେ ଯାଇପାରେ ସେହିପରି ଆଲୋକ ତରଙ୍ଗ ସାହାଯ୍ୟରେ ଏକ ସ୍ଥାନରୁ ଅନ୍ୟ ସ୍ଥାନକୁ ଯାଇପାରେ । ଏହାକୁ ଆଲୋକର ତରଙ୍ଗ ତତ୍ତ୍ୱ କହନ୍ତି । ଏହା ସାହାଯ୍ୟରେ ବ୍ୟତିକରଣ, ବିବର୍ତ୍ତନ ଓ ପାର୍ଶ୍ୱୀକରଣ ପ୍ରକ୍ରିୟା ସହଜରେ ବୁଝାଯାଇ ପାରିଲା ; କିନ୍ତୁ ତରଙ୍ଗ ପ୍ରବାହ ପାଇଁ ଏକ ମାଧ୍ୟମ ଆବଶ୍ୟକ । ତେଣୁ ସେ ଇଥର (Ether) ନାମକ ଏକ ମାଧ୍ୟମର କଳ୍ପନା କଲେ । ତାଙ୍କ କଳ୍ପନା ଅନୁସାରେ ଇଥର ସବୁଆଡ଼େ, ସବୁ ପଦାର୍ଥ ଭିତରେ ଓ ମହାଶୂନ୍ୟରେ ମଧ୍ୟ ପୂରି ରହିଛି ଓ ଇଥର କମ୍ପନ ସାହାଯ୍ୟରେ ଆଲୋକ ଏକ ସ୍ଥାନରୁ ଅନ୍ୟ ସ୍ଥାନକୁ ଗତି କରିଥାଏ । କ୍ରମେ ବିଶ୍ୱର ଅନ୍ୟ ବୈଜ୍ଞାନିକମାନେ ଏହି ତତ୍ତ୍ୱକୁ ମାନିନେଲେ । ପରେ ମାକ୍ସୱେଲ୍ (Maxwell), ହାର୍ତ୍ସ୍ (Hertz) ପ୍ରମୁଖ ପଦାର୍ଥ ବିଦ୍ୟାବିତ୍ ଇଥର ତତ୍ତ୍ୱକୁ ସ୍ୱୀକାର କରି ଆଲୋକର ବିଦ୍ୟୁତ୍ ଚୁମ୍ବକୀୟ ତତ୍ତ୍ୱ (Electromagnetic theory) ପ୍ରକାଶ କଲେ । ଏହି ତତ୍ତ୍ୱ ଅନୁସାରେ ଆଲୋକ, ତାପ, ବେତାର, ଅଲଟ୍ରାଭାୟୋଲେଟ ରଶ୍ମି, ରଞ୍ଜନ ରଶ୍ମି, ଗାମା ରଶ୍ମି ପ୍ରଭୃତି ପ୍ରତ୍ୟେକ ବିଦ୍ୟୁତ ଚୁମ୍ବକୀୟ ତରଙ୍ଗ (Electro-magnetic

Waves) ଅଟନ୍ତି ଓ ସେଗୁଡ଼ିକ ସେକେଣ୍ଡକୁ 186280 ମାଇଲ ପରିବେଗରେ ଗତି କରନ୍ତି ।

ବୈଜ୍ଞାନିକମାନେ ଏହି କାଳ୍ପନିକ ଇଥର ସମ୍ବନ୍ଧରେ ପ୍ରକୃତ ତଥ୍ୟ ଜାଣିବା ପାଇଁ ନିମ୍ନଲିଖିତ କେତେଗୁଡ଼ିଏ ବିଷୟର ସମାଧାନ ପରୀକ୍ଷା ସାହାଯ୍ୟରେ ଜାଣିବାକୁ ଚେଷ୍ଟା କଲେ ।

(୧) ପରୀକ୍ଷାରୁ ଜଣାଯାଏ ଆଲୋକର ପରିବେଗ ବିଭିନ୍ନ ମାଧ୍ୟମରେ ବିଭିନ୍ନ ହୋଇଥାଏ । ତେଣୁ ମାଧ୍ୟମର ଅଣୁଗୁଡ଼ିକ ଇଥର କମ୍ପନକୁ ପ୍ରଭାବିତ କରିବା ସ୍ୱାଭାବିକ । ତାହେଲେ କିପରି ଭାବରେ ମାଧ୍ୟମର ଅଣୁଗୁଡ଼ିକ ଇଥରର କମ୍ପନକୁ ପ୍ରଭାବିତ କରନ୍ତି ?

(୨) ପଦାର୍ଥଗୁଡ଼ିକ ଇଥର ସମୁଦ୍ରରେ ଗତିକଲା ସମୟରେ ସେଗୁଡ଼ିକ ଭିତରେ ଥିବା ଇଥରକୁ ନିଜ ସଙ୍ଗରେ ବୋହି ନିଅନ୍ତି, କିମ୍ବା ଇଥର ପଦାର୍ଥ-ଗୁଡ଼ିକ ଭିତର ଦେଇ ବିନା ବାଧାରେ ବୋହି ଯାଏ ?

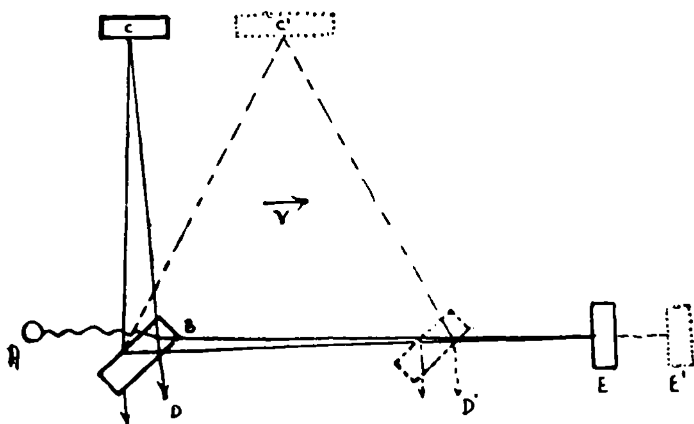
(୩) ଇଥର ପୃଥିବୀ, ଗ୍ରହ ଓ ଉପଗ୍ରହମାନଙ୍କର ଗତିରେ ବାଧା ସୃଷ୍ଟି କରେ କି ନାହିଁ ?

(୪) ଆଲୋକର ପରିବେଗ ଇଥର ତୁଳନାରେ ନିର୍ଦ୍ଦିଷ୍ଟ କି ନୁହେଁ ? ଯଦି ନିର୍ଦ୍ଦିଷ୍ଟ, ତେବେ ଆଲୋକର ଆଭାସୀ ପରିବେଗ (Apparent Velocity) ଅନ୍ୟ ଗତିଶୀଳ ପଦାର୍ଥ ତୁଳନାରେ ପରମ ପରିବେଗ (Absolute Velocity) ଠାରୁ ଭିନ୍ନ ହେବ । ଉଦାହରଣ ସ୍ୱରୂପ ମନେକର ଗୋଟିଏ ଯାନ ଏକ ସେକେଣ୍ଡରେ 86,000 ମାଇଲ ବେଗରେ ଗତି କରୁଛି ଏବଂ ଆଲୋକ ରଶ୍ମି ଯାନଟିର ପଛରୁ ଆସି ଯାନଟିକୁ ଅତିକ୍ରମ କଲା । ଯାନରେ ବସିଥିବା ବ୍ୟକ୍ତି ଆଲୋକର ଆଭାସୀ ପରିବେଗ 100,000 ମାଇଲ ବୋଲି ନିର୍ଣ୍ଣୟ କରି ଆଲୋକର ପରମ ପରିବେଗ ନିର୍ଣ୍ଣୟ କରି ପାରିବେ ।

ସର୍ବ ପ୍ରଥମେ 1887 ଖ୍ରୀଷ୍ଟାବ୍ଦରେ ମାଇକେଲସନ୍ (Michelson) ଓ ମରଲେ (Morley) ନାମକ ଦୁଇଜଣ ବୈଜ୍ଞାନିକ ଆଲୋକର ଆଭାସୀ ପରିବେଗ ମାପି ପୃଥିବୀର ପରମ ପରିବେଗ ମାପିବାକୁ ଚେଷ୍ଟା କରିଥିଲେ । ସେମାନେ ଏହି ପରୀକ୍ଷା କରିବା ପାଇଁ ମାଇକେଲସନ୍ ବ୍ୟତିକରଣ ମାପକ ବା ଇଣ୍ଟର-ଫେରୋମିଟର (Michelson Interferometre) ବ୍ୟବହାର କରିଥିଲେ ।

୨ । ମାଇକେଲସନ୍ ଓ ମରଲେଙ୍କ ପରୀକ୍ଷା

ମାଇକେଲସନ୍ ଓ ମରଲେଙ୍କ ପରୀକ୍ଷାରେ ବ୍ୟବହାର କରାଯାଇଥିବା ଉପକରଣଗୁଡ଼ିକ (ଚିତ୍ର 1.1 ରେ ଦିଆ ଯାଇଅଛି । ଆଲୋକ ଉତ୍ସ A ଠାରୁ ନିର୍ଗତ ଆଲୋକ ରଶ୍ମି ଅର୍ଦ୍ଧ ରଜତ ଦର୍ପଣ B ଦ୍ୱାରା ଦୁଇଟି କିରଣ ଗୁଚ୍ଛରେ (Beam) ବିଭକ୍ତ ହୁଏ ଏବଂ ଗୁଚ୍ଛ ଦ୍ୱୟ ପରସ୍ପରକୁ ସମକୋଣ କରି E ଏବଂ C ନାମକ ଦୁଇଟି ଦର୍ପଣ ଆଡ଼କୁ ଗତି କରନ୍ତି । ଦର୍ପଣ ଦ୍ୱାରା ପ୍ରତିଫଳିତ ହୋଇ ପୁଣି B ପାଖକୁ ଫେରିଆସେ । B ଠାରେ ଗୁଚ୍ଛ ଦ୍ୱୟ ଏକାଠି ହୋଇ D ଦିଗକୁ ଗତି କରନ୍ତି । ଯଦି B ଠାରୁ E ର ଆଲୋକୀୟ ପଥ (Optical Path) B ଠାରୁ C ର ଆଲୋକୀୟ ପଥ ସହିତ ସମାନ ହୁଏ, ତେବେ ଆଲୋକ ଗୁଚ୍ଛ ଦ୍ୱୟ ସମକଳାରେ ରହିବେ ଓ ଦୁହେଁ ସମ୍ପୋଷୀ ବ୍ୟତିକରଣ (Constructive Interference) ସୃଷ୍ଟି କରିବେ । କିନ୍ତୁ ଯଦି ଆଲୋକୀୟ ପଥ ଭିନ୍ନ ହୁଏ, ତେବେ ସେମାନେ ବ୍ୟତିକରଣ ଚିତ୍ର ସୃଷ୍ଟି କରିବେ ।



ମାଇକେଲସନ୍ ଓ ମରଲେଙ୍କ ପରୀକ୍ଷାର ବ୍ୟବସ୍ଥା ଚିତ୍ର

ଚିତ୍ର (2.1)

ମନେକର ଇଥର୍ ମଧ୍ୟ ଦେଇ ପୃଥିବୀର ଗତି v ଆଲୋକର ଗତି C ଏବଂ ମାଇକେଲସନ୍‌ଙ୍କ ବ୍ୟତିକରଣ ମାପକର BE ବାହୁ ପୃଥିବୀ ପୃଷ୍ଠରେ ପୃଥିବୀର ପରିବେଗ ସହିତ ସମାନ୍ତର କରି ରଖା ଯାଇଅଛି । ମନେକର BE ର ଆଲୋକୀୟ ପଥ BC ସହିତ ସମାନ ଓ ପ୍ରତ୍ୟେକ S ହୁଅନ୍ତି । ଆଲୋକ

B ଠାରୁ E ପର୍ଯ୍ୟନ୍ତ ଯିବା ପାଇଁ t_1^1 ସମୟ ଓ E ଠାରୁ B ପର୍ଯ୍ୟନ୍ତ ଆସିବା ପାଇଁ t_1^{11} ସମୟ ଲାଗେ । ତାହାହେଲେ ;

$$ct_1^1 = s + vt_1^1$$

$$\text{କିମ୍ବା} \quad t_1^1 = \frac{s}{c-v}$$

କାରଣ ପୃଥିବୀର ବେଗ ଯୋଗୁ E ଦର୍ପଣଟି vt_1^1 ଦୂରକୁ ଚାଲିଯାଏ । ସେହିପରି

$$ct_1^{11} = s - vt_1^{11}$$

$$\text{କିମ୍ବା} \quad t_1^{11} = \frac{s}{c+v}$$

ଯଦି ଆଲୋକ B ଠାରୁ E ପର୍ଯ୍ୟନ୍ତ ଯାଇ ଫେରି ଆସିବାକୁ t_1 ସମୟ ଲାଗେ, ତେବେ

$$t_1 = t_1^1 + t_1^{11} = \frac{s}{c-v} + \frac{s}{c+v} \quad \cdots (2.1)$$

$$= \frac{2s/c}{1 - v^2/c^2} = \frac{2s}{c}\left(1 + \frac{v^2}{c^2} \quad \cdots\right) \cdots (2.2)$$

ଯେହେତୁ $v << c$

ଯଦି ଅନ୍ୟ ଆଲୋକ ଗୁଚ୍ଛ B ଠାରୁ C^1 ପର୍ଯ୍ୟନ୍ତ ଯିବାକୁ t^1_2 ସମୟ ନିଏ, ତେବେ ସେହି ଆଲୋକ ଗୁଚ୍ଛ C^1 ଠାରୁ B^1 କୁ ଆସିବାକୁ ମଧ୍ୟ ସେହି t_2^1 ସମୟ ନେବ । ତେବେ

$$(ct_2^1)^2 = s^2 + (vt_2^1)^2$$

$$\text{କିମ୍ବା} \quad t_2^1 = \frac{s}{\sqrt{c^2 - v^2}}$$

ଯଦି ଆଲୋକ B ଠାରୁ ବାହାରି C^1 ଦ୍ୱାରା ପ୍ରତିଫଳିତ ହୋଇ ପୁଣି B^1 ଠାରେ ପହଞ୍ଚିବାକୁ t_2 ସମୟ ନିଏ, ତେବେ

$$t_2 = 2t_2^1 = \frac{2c}{\sqrt{c^2 - v^2}} = \frac{2s/c}{\left(1 - \frac{v^2}{c^2}\right)^{\frac{1}{2}}}$$

$$= \frac{2s}{t}\left(1 + \tfrac{1}{2}\frac{v^2}{c^2} \quad \cdots\right) \quad (2.3)$$

ସମୀକରଣ (2.2) ଓ (2.3) କୁ ତୁଳନା କଲେ ଜଣାଯିବ ଯେ ଯଦି ବ୍ୟତିକରଣ ମାପକ ସ୍ଥିର ରହିବ, ତେବେ $t_1 = t_2$ ଅର୍ଥାତ ଆଲୋକ ଗୁଚ୍ଛର ଆଲୋକୀୟ ପଥ ସମାନ ରହିବ। ତେଣୁ ବ୍ୟତିକରଣ ଚାଦର କିଛି ପରିବର୍ତ୍ତନ ହେବ ନାହିଁ। କିନ୍ତୁ ଯଦି ବ୍ୟତିକରଣ ମାପକ ନିର୍ଦ୍ଦିଷ୍ଟ ପରିବେଗରେ ଗତି କରିବ ତେବେ $t_1 \neq t_2$ ହେବ। ତେଣୁ ଦୁଇ ଆଲୋକ ଗୁଚ୍ଛର ଆଲୋକୀୟ ଦୂରତା ଭିନ୍ନ ହେବ ଓ ଫ୍ରିଂଜ୍ ବିସ୍ଥାପନ (Fringe Shift) ହେବ। ଯଦି ବ୍ୟତିକରଣ ମାପକକୁ 90° ବୁଲାଇ ଦିଆଯାଏ, ତେବେ ଦୁଇ ସମୟ t_1 ଏବଂ t_2 ର ବ୍ୟବଧାନ ଦୁଇଗୁଣ ହୋଇଯିବ। ତେଣୁ ଫ୍ରିଂଜ୍ ବିସ୍ଥାପନ ମଧ୍ୟ ଦୁଇଗୁଣ ହୋଇଯିବ। ଯଦି ଫ୍ରିଂଜ୍ ବିସ୍ଥାପନ N ହୁଏ, ତେବେ

$$N = \frac{\text{ପଥାନ୍ତର (Path difference)}}{\text{ତରଙ୍ଗ ଦୈର୍ଘ୍ୟ (Wave length)}}$$

$$= \frac{c(t_1 - t_2)}{\lambda} = \frac{2sv^2}{c^2\lambda}$$

ଫ୍ରିଂଜ୍ ବିସ୍ଥାପନର ପରିମାଣ ନିର୍ଣ୍ଣୟ କରିବା ପାଇଁ ପୃଥିବୀର ପରିବେଗକୁ ତାର ପରିକ୍ରମଣ ପରିବେଗ (Revolutional Velocity) ସେକେଣ୍ଡକୁ 30 କି:ମି: ସହିତ ସମାନ ବୋଲି ଧରି ନିଆ ଯାଇପାରେ। ମାଇକଲ୍‌ସନ୍ ମର୍‌ଲେ ତାଙ୍କ ବ୍ୟତିକରଣ ମାପକର BE ଓ BC ର ଆଲୋକୀୟ ପଥକୁ 10 ମିଟର ରଖିଥିଲେ ଓ 5000 Å ତରଙ୍ଗ ଦୈର୍ଘ୍ୟର ଆଲୋକ ବ୍ୟବହାର କରିଥିଲେ। ଏହି ପରିସ୍ଥିତରେ ଫ୍ରିଂଜ୍ ବିସ୍ଥାପନର ପରିମାଣ ହିସାବ କଲେ

$$N = \frac{2 \times 10\text{ମି}(3 \times 10^4\text{ମି})^2}{(3 \times 10^8\text{ମି})^2\ (5.0 \times 10^{-7}\text{ମି})} = 0.4. \quad (2.4)$$

ଏହି ପରିମାଣର ଫ୍ରିଞ୍ଜ୍ ବିସ୍ଥାପନ ମାଇକଲ୍‌ସନ୍ ବ୍ୟତିକରଣ ମାପକ ଦ୍ୱାରା ସହଜରେ ମପା ଯାଇପାରିବ। ତେଣୁ ଏହି ଫ୍ରିଂଜ୍ ବିସ୍ଥାପନ ମାପି ପୃଥିବୀର ପରମ ପରିବେଗ ନିର୍ଣ୍ଣୟ କରାଯାଇ ପାରିବ। ମାଇକେଲ୍‌ସନ୍ ଓ ମର୍‌ଲେ ସେମାନଙ୍କର ବ୍ୟତିକରଣ ମାପକକୁ ଏକ ବଡ଼ ପାରଦ କୁଣ୍ଡରେ ଭାସମାନ ଅବସ୍ଥାରେ ରଖିଥିଲେ ଏବଂ ବ୍ୟତିକରଣ ମାପକକୁ ବୁଲାଇ ଫ୍ରିଂଜ୍ ବିସ୍ଥାପନ ମାପିବା ପାଇଁ ଚେଷ୍ଟା କରିଥିଲେ। ସେମାନେ ଏହି ପରୀକ୍ଷା ବର୍ଷର ବିଭିନ୍ନ ମାସ, ଦିନ ରାତିରେ ଆମେରିକା ଓ ଇଉରୋପର ବିଭିନ୍ନ ସ୍ଥାନରେ

ମାପିବାକୁ ଚେଷ୍ଟା କରିଥିଲେ; କିନ୍ତୁ କୌଣସି ସମୟରେ ସେମାନେ ଫ୍ରିଂଜ୍ ବିସ୍ଥାପନ ଦେଖି ପାରି ନ ଥିଲେ । ତେଣୁ ଏହି ପରୀକ୍ଷାରୁ ଜଣା ପଡ଼ିଲା ଯେ ଆଲୋକର ପରିବେଗ ସବୁବେଳେ ସମାନ ରହୁଛି । ମାଇକେଲ୍‌ସନ୍ ଓ ମର୍‌ଲେ ଏହି ପରୀକ୍ଷାରୁ ମିଳିଥିବା ତଥ୍ୟକୁ ବୁଝାଇବା ପାଇଁ ଚେଷ୍ଟା କରିଥିଲେ କିନ୍ତୁ କ୍ଷମ ହୋଇ ପାରି ନ ଥିଲେ । ପରିଶେଷରେ ସେମାନେ ମତ ଦେଲେ ଯେ ପୃଥିବୀ ଓ ଇଥର ମଧ୍ୟରେ କିଛି ଆପେକ୍ଷିକ ଗତି ନାହିଁ । ଯଦି ଥାଏ, ତେବେ ତାହା ଅତି କମ୍ ।

ମାଇକେଲ୍‌ସନ୍ ଓ ମର୍‌ଲେ ତାଙ୍କର ପରୀକ୍ଷାରୁ ମିଳିଥିବା ସତ୍ୟକୁ 1887 ଖ୍ରୀଷ୍ଟାବ୍ଦରେ ପ୍ରକାଶ କରିଥିଲେ । ସେହିଦିନଠାରୁ 1905 ଖ୍ରୀଷ୍ଟାବ୍ଦ ପର୍ଯ୍ୟନ୍ତ କୌଣସି ବୈଜ୍ଞାନିକ ମାଇକେଲ୍‌ସନ୍ ମରଲେଙ୍କ ପରୀକ୍ଷାରୁ ମିଳିଥିବା ସତ୍ୟକୁ ପରୀକ୍ଷା ଦ୍ୱାରା ଭୁଲ ବୋଲି ପ୍ରମାଣ କରି ପାରି ନ ଥିଲେ, କିମ୍ବା ପରୀକ୍ଷା ଲବ୍‌ଧ ସତ୍ୟକୁ ବ୍ୟାଖ୍ୟା କରିବାକୁ ସମର୍ଥ ହୋଇ ପାରି ନ ଥିଲେ ।

୩ । ବିଶେଷ ଆପେକ୍ଷିକ ତତ୍ତ୍ୱର ସ୍ୱୀକାର

ଆଇନ୍‌ଷ୍ଟାଇନ୍ 1905 ମସିହାରେ ମାଇକେଲ୍‌ସନ୍ ଓ ମରଲେଙ୍କ ପରୀକ୍ଷା ଲବ୍‌ଧ ସତ୍ୟକୁ ବ୍ୟାଖ୍ୟା କରିବାକୁ ଯାଇ ପ୍ରକାଶ କଲେ ଯେ ପରୀକ୍ଷା ଦ୍ୱାରା କେବଳ ଆପେକ୍ଷିକ ପରିବେଗ ମପାଯାଇ ପାରିବ ଓ ପଦାର୍ଥ ବିଜ୍ଞାନର ସାଧାରଣ ନିୟମଗୁଡ଼ିକ ପର୍ଯ୍ୟବେକ୍ଷକର ପରିବେଗ ଉପରେ ନିର୍ଭର କରିବ । ଉଦାହରଣ ସ୍ୱରୂପ ଆମେ ସ୍ଥିର ଅବସ୍ଥାରେ ଥାଇ ପରୀକ୍ଷା କରି ଯେଉଁ ଫଳ ପାଇବୁ ଗତିଶୀଳ ଅବସ୍ଥାରେ ସେହି ପରୀକ୍ଷାରୁ ଭିନ୍ନ ଫଳ ପାଇବୁ ଏବଂ ପରୀକ୍ଷାର ଫଳ ଆମର ପରିବେଗ ଉପରେ ନିର୍ଭର କରିବ । ମୋଟ ଉପରେ କହିବାକୁ ଗଲେ ଆମେ ଗତିଶୀଳ ପୃଥିବୀ ଉପରେ ରହି ପରୀକ୍ଷା ଦ୍ୱାରା ଯେଉଁ ସତ୍ୟ ପାଉଛୁ ବା ଯାହା ଦେଖୁଛୁ ତାହା ନିରାଟ ସତ୍ୟ ନୁହେଁ । ଗତିଶୀଳ ଅବସ୍ଥାରେ ଓ ସ୍ଥିରାବସ୍ଥାରେ ଯେ ଭିନ୍ନ ଫଳ ମିଳିପାରେ ତାହା ପୁରାତନ ପଦାର୍ଥବିଦ୍ୟାବିତ୍-ମାନଙ୍କୁ ଜଣା ନ ଥିଲା । ପୁରାତନ ପଦାର୍ଥ ବିଜ୍ଞାନ ଅନୁସାରେ ସ୍ଥିର ଓ ଗତିଶୀଳ ଅବସ୍ଥାରେ ଥିବା ଦର୍ଶକମାନଙ୍କୁ ଦୁଇଟି ଘଟଣାର ସମୟର ବ୍ୟବଧାନ ସମାନ ଓ ସେହିପରି ଦୁଇଟି ସ୍ଥାନର ବ୍ୟବଧାନ ମଧ୍ୟ ସମାନ ବୋଲି ଜଣାଯିବ ।

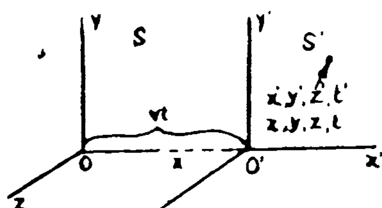
ଆଇନ୍‌ଷ୍ଟାଇନ ପଦାର୍ଥବିଦ୍ୟାବିତ୍ ନିଉଟନ୍‌ଙ୍କ ଗତିତତ୍ତ୍ୱ ପ୍ରମାଦପୂର୍ଣ୍ଣ ବୋଲି ସୂଚାଇଲେ ଓ ତାଙ୍କର ବିଶେଷ ଅପେକ୍ଷିକ ତତ୍ତ୍ୱ ପ୍ରକାଶ କଲେ । ତାଙ୍କର ବିଶେଷ ଅପେକ୍ଷିକ ତତ୍ତ୍ୱ ଦୁଇଟି ସ୍ୱୀକାର ଉପରେ ନିର୍ଭର କରେ । ଯଥା—(1) ଦୁଇଟି ସ୍ଥାନାଙ୍କ ପଦ୍ଧତି (Coordinate System) ଏକ ସମାନ ଅପେକ୍ଷିକ ପରିବେଗରେ (constant relative velocity) ଗତି କରୁଥିଲେ ସେହି ଦୁଇଟି ସ୍ଥାନାଙ୍କ ପଦ୍ଧତି ମଧ୍ୟରୁ ଯେ କୌଣସି ଗୋଟିକରେ ପ୍ରକାଶିତ ଭୌତିକ ଘଟଣାର ନିୟମ (Laws of Physical Phenomenon) ଅନ୍ୟଟିରେ ପ୍ରକାଶିତ ନିୟମ ସହିତ ସମାନ ।

(2) ଶୂନ୍ୟତା (Vacuum) ରେ ଆଲୋକର ପରିବେଗ ସବୁବେଳେ ସମସ୍ତଙ୍କ ପାଇଁ ସମାନ ଏବଂ ଏହା ଦର୍ଶକଙ୍କ ପ୍ରତି ଆଲୋକ ଉତ୍ସର ଅପେକ୍ଷିକ ପରିବେଗ ଉପରେ ନିର୍ଭର କରେ ନାହିଁ ।

ଆଇନ୍‌ଷ୍ଟାଇନ୍‌ଙ୍କର ନୂତନ ତତ୍ତ୍ୱ ଅନୁସାରେ ଗତିଶୀଳ ଦର୍ଶକର ପରିବେଗ ଯଦି ଆଲୋକର ପରିବେଗର ପାଖାପାଖି ହୁଏ, ତେବେ ସ୍ଥିର ଓ ଗତିଶୀଳ ଦର୍ଶକଙ୍କ ମାପର ପାର୍ଥକ୍ୟ ସହଜରେ ଜାଣି ହେବ । କିନ୍ତୁ ପରିବେଗ ଯଦି କମ୍ ହୁଏ, ତେବେ ଏହି ପାର୍ଥକ୍ୟ ଏତେ କମ୍ ହେବ ଯେ ତାହା ମାପି ହେବ ନାହିଁ । ତେଣୁ ଦୁଇଟି ଯାକ ଫଳ ପ୍ରାପ୍ତ ସମାନ ଆସିବ । ନିଉଟନ୍‌ଙ୍କ ଗତିତତ୍ତ୍ୱ ଆଇନ୍‌ଷ୍ଟାଇନ୍‌ଙ୍କ ଅପେକ୍ଷିକ ତତ୍ତ୍ୱର ଏକ ବିଶେଷ ପ୍ରକରଣ ମାତ୍ର ।

୪ । ସ୍ଥାନାଙ୍କର ଆପେକ୍ଷିକୀୟ ରୂପାନ୍ତର

ମନେକର ଏକ ସ୍ଥାନାଙ୍କ ପଦ୍ଧତି s^1, x ଦିଗରେ ଏକ ନିର୍ଦ୍ଦିଷ୍ଟ ପରିବେଗ v ରେ ଗତି କରୁଛି ଏବଂ ଅନ୍ୟ ଏକ ସ୍ଥାନାଙ୍କ ପଦ୍ଧତି s ସ୍ଥିର ଅଛି । ଏକ ବିନ୍ଦୁର ଅବସ୍ଥିତି s ସ୍ଥାନାଙ୍କ ପଦ୍ଧତି ଅନୁସାରେ t ସମୟରେ ମପା ଯିବାରୁ ସ୍ଥାନାଙ୍କ ହେଲା x, y ଏବଂ z । ସେହି



ସ୍ଥାନାଙ୍କ ପଦ୍ଧତି S'. ସ୍ଥାନଙ୍କ ପଦ୍ଧତି S, ପ୍ରତି v ପରିବେଗରେ x ଦିଗରେ ଗତି କରୁଛି ·

ଚିତ୍ର (2.2)

ବିନ୍ଦୁର ଅବସ୍ଥିତ s^1 ସ୍ଥାନାଙ୍କ ପଦ୍ଧତି ଅନୁସାରେ t^1 ସମୟରେ ମପା ଯିବାରୁ ବିନ୍ଦୁର ସ୍ଥାନାଙ୍କ x^1, y^1 ଏବଂ z^1 ହେଲା । (ଚିତ୍ର—2.2 ଦେଖ) ମନେକର $t=t^1=0$ ସମୟରେ ଦୁଇ ସ୍ଥାନାଙ୍କ ପଦ୍ଧତି ଏକ ଜାଗାରେ ମିଳିତ ହୋଇଥିଲେ, ତାହାହେଲେ ସ୍ଥାନାଙ୍କମାନଙ୍କର ସମ୍ପର୍କ, ସୁସ୍ଥାପିତ ତତ୍ତ୍ୱ (Classical Theory) ଅନୁସାରେ ସମୀକରଣ ଦ୍ୱାରା ପ୍ରକାଶ କରାଯାଇ ପାରିବ । ଦୁଇ ସ୍ଥାନାଙ୍କ ମଧ୍ୟରେ ରହିଥିବା ସମ୍ପର୍କ 2.1 ନମ୍ବର ତାଲିକା (Table) ର ପ୍ରଥମ ସ୍ତମ୍ଭ (Column) ରେ ଦିଆ ଯାଇଅଛି ଓ ଆପେକ୍ଷିକ ତତ୍ତ୍ୱ ଅନୁସାରେ ରହିଥିବା ସମ୍ପର୍କ ସେହି ତାଲିକାର ଦ୍ୱିତୀୟ ସ୍ତମ୍ଭରେ ଦିଆ ଯାଇଅଛି ।

ତାଲିକା—(2.1)

ସୁସ୍ଥାପିତ ତତ୍ତ୍ୱ ଅନୁସାରେ	ଆପେକ୍ଷିକ ତତ୍ତ୍ୱ ଅନୁସାରେ	
$x^1=x-vt$	$x^1=\frac{x-vt}{\sqrt{1-v^2/c^2}}$	(2.5)
$y^1=y$	$y^1=y$	(2.6)
$z^1=z$	$z^1=z$ ...	(2.7)
$t^1=t$	$t^1=\frac{t-vx/c^2}{\sqrt{1-v^2/c^2}}$	(2.8)

ଏହି ତାଲିକାରୁ ଜଣାପଡ଼େ ଏକ ସ୍ଥାନାଙ୍କ ପଦ୍ଧତି ଅନୁସାରେ ମପାଯାଇ ଗୋଟିଏ ଘଟଣା ଏକ ନିର୍ଦ୍ଦିଷ୍ଟ ଜଗାରେ ଭିନ୍ନ ଭିନ୍ନ ସମୟରେ ଘଟୁଥିବାର ଜଣା ଯାଇଥିଲେ ମଧ୍ୟ ସେହି ଘଟଣାଟି ଅନ୍ୟ ଏକ ସ୍ଥାନାଙ୍କ ପଦ୍ଧତି ଅନୁସାରେ ମପା ଗଲେ ଭିନ୍ନ ଭିନ୍ନ ଜାଗାରେ ଘଟିଥିବାର ଜଣା ଯାଇପାରେ । ସେହିପରି ଏକ ସ୍ଥାନାଙ୍କ ପଦ୍ଧତି ଅନୁସାରେ ମପା ଯାଇଥିବା ଦୁଇଟି ଘଟଣା ଏକ ସମୟରେ ଘଟିଥିଲେ ମଧ୍ୟ ତାହା ଅନ୍ୟ ସ୍ଥାନାଙ୍କ ପଦ୍ଧତି ଅନୁସାରେ ମପାଗଲେ ଭିନ୍ନ ସମୟରେ ଘଟିଥିବାର ଜଣା ଯାଇଥାଏ । ତେଣୁ ଏହି ତତ୍ତ୍ୱ ଅନୁସାରେ ଦୁଇଟି ସ୍ଥାନର ତଫାତ୍ ଆଂଶିକ ଭାବରେ ଦୁଇଟି ସମୟର ତଫାତ୍ ଅନୁସାରେ ପ୍ରକାଶ କରାଯାଇପାରେ ।

ଉଦାହରଣ—

ଅପେକ୍ଷେକ୍ଷୀୟ ସମିକରଣ (2.5) ଏବଂ (2.8) ଦ୍ୱାରା ପ୍ରମାଣ କର ଯେ ପ୍ରତ୍ୟେକ ସ୍ଥାନାଙ୍କ ପଦ୍ଧତିରେ ଆଲୋକର ପତିବେଗ ସମାନ ।

ମନେକର 2.2 ନମ୍ବର ଚିତ୍ରରେ ଆଲୋକ କେନ୍ଦ୍ରବିନ୍ଦୁଠାରୁ $t=0$ ସମୟରେ x ଦିଗରେ c ପରିବେଗରେ ଗତି କରିବାକୁ ଲାଗିଲା ଓ t ସମୟ ପରେ x ଦୂରରେ ପହଞ୍ଚିଲା । ତାହାହେଲେ $t=x/c$ । v ପରିବେଗରେ ଗତି କରୁଥିବା ଏକ ସ୍ଥାନାଙ୍କ ପଦ୍ଧତିରେ ଥାଇ ଏକ ଦର୍ଶକ ଦେଖିଲା ଯେ ଆଲୋକ t^1 ସମୟରେ x^1 ଦୂର ଗତି କରିଅଛି, ତେବେ

$$x^1=\frac{x-v}{\sqrt{1-v^2/c^2}}$$

ଏବଂ $t^1=\dfrac{\dfrac{x}{c}-\dfrac{v}{c^2}x}{\sqrt{1-v^2/c^2}}$ ଯଦି ଗତିଶୀଳ ସ୍ଥାନାଙ୍କ ପଦ୍ଧତିରେ ଆଲୋକର ପରିବେଗ c^1 ହୁଏ, ତେବେ

$$c^1=\frac{x^1}{t^1}=\frac{x-\dfrac{vx}{c}}{\dfrac{x}{c}-\dfrac{vx}{c^2}}=c$$

ଏଥିରୁ ପ୍ରମାଣିତ ହେଲା ଯେ ଆଲୋକର ଗତି ସବୁ ସ୍ଥାନାଙ୍କ ପଦ୍ଧତିରେ ସମାନ ।

୪ । ପରିବେଗର ସଂଯୋଜନା

ଜଣେ ଦର୍ଶକ A, S ସ୍ଥାନାଙ୍କ (ଚିତ୍ର—2.2) ପଦ୍ଧତି ଅନୁସାରେ ସ୍ଥିର ଅଛି ଏବଂ ଅନ୍ୟ ଗୋଟିଏ ଦର୍ଶକ B, S^1 ସ୍ଥାନାଙ୍କ ପଦ୍ଧତି ଅନୁସାରେ ସ୍ଥିର ଅଛି । କିନ୍ତୁ S^1 ସ୍ଥାନାଙ୍କ ପଦ୍ଧତି X ଦିଗରେ S ପ୍ରତି v ପରିବେଗରେ ଗତି କରୁଛି । ମନେକର ଗୋଟିଏ ପଦାର୍ଥ X ଦିଗରେ ଦୁଇ ଦର୍ଶକଙ୍କୁ ଅତିକ୍ରମ କରିଗଲା । B ଦର୍ଶକ ନିଜ ପ୍ରତି ପଦାର୍ଥର ଆପେକ୍ଷିକ ପରିବେଗ v^1 ବୋଲି ମାପିଲା ଏବଂ A ଦର୍ଶକ ନିଜ ପ୍ରତି ପଦାର୍ଥର ଆପେକ୍ଷିକ ପରିବେଗ u ବୋଲି ମାପିଲା । ତାହାହେଲେ

$$v^1=\frac{\Delta\, x^1}{\Delta\, t^1}=\frac{\Delta\left(\dfrac{x-vt}{\sqrt{1-v^2/c^2}}\right)}{\Delta\left(\dfrac{t-vx/c^2}{\sqrt{1-v^2/c^2}}\right)}$$

$$u = \frac{\Delta x - v \Delta t}{\Delta t - (v^2/c^2) \Delta x} = \frac{u - v}{1 - \frac{uv}{c^2}} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots (2.9)$$

ଯେଉଁଠାରେ $u = \frac{\Delta x}{\Delta t}$

ଉପର ସମୀକରଣରୁ ଆମେ ପାଉଁ

$$u = \frac{u^1 + v}{1 + u^1 v/c^2} \quad \ldots\ldots (2.10)$$

ଉଦାହରଣ—

ଗୋଟିଏ ରକେଟ u ପରିବେଗରେ ତୁମର ପରୀକ୍ଷାଗାର ଉପର ଦେଇ ଚାଲିଗଲା ଏବଂ ଏକ କୃତ୍ରିମ ଉପଗ୍ରହ u^1 ବେଗରେ ରକେଟଟିକୁ ଅତିକ୍ରମ କରିଗଲା । ଯଦି u ଏବଂ u^1 ପ୍ରତ୍ୟେକର ପରିମାଣ $0.9c$ ହୁଏ, ତେବେ ପରୀକ୍ଷାଗାର ପ୍ରତି ଉପଗ୍ରହର ବେଗ କେତେ ହେବ ?

ସୁସ୍ଥାପିତ ତତ୍ତ୍ୱ ଅନୁସାରେ ଉପଗ୍ରହର ବେଗ ପରୀକ୍ଷାଗାର ପ୍ରତି ରକେଟର ବେଗ ଓ ରକେଟ ପ୍ରତି ଉପଗ୍ରହ ବେଗର ସମଷ୍ଟି ସହିତ ସମାନ ହେବ । କିନ୍ତୁ ଆପେକ୍ଷିକ ତତ୍ତ୍ୱ ଅନୁସାରେ ଏହା ଭିନ୍ନ ହେବ । ଯଦି u ଉପଗ୍ରହର ବେଗ ହୁଏ, ତେବେ ସମୀକରଣ (2.10) ଅନୁସାରେ

$$u = \frac{.9c + .9c}{1 + \frac{.9c \times .9c}{c^2}} = \frac{1.8c}{1 + .8} = .995c$$

ଏଥିରୁ ଜଣାଗଲା ଯେ କୌଣସି ବସ୍ତୁ ଆଲୋକର ବେଗଠାରୁ ବେଶୀ ବେଗରେ ଯାଇ ପାରିବ ନାହିଁ ।

୭ । ବସ୍ତୁତ୍ୱର ପରିବର୍ତ୍ତନ

ନିଉଟନ୍‌ଙ୍କ ସୁସ୍ଥାପିତ ତତ୍ତ୍ୱ (Classical theory) ଅନୁସାରେ ସଂବେଗ (Momentum) ବେଗ ସହ ଅନୁପାତୀ (Proportional) କିନ୍ତୁ ଆପେକ୍ଷିକ ତତ୍ତ୍ୱ ଅନୁସାରେ ଏହା ଅନୁପାତୀ ନୁହେଁ । କେବଳ ଯେତେବେଳେ ବେଗର ପରିମାଣ ଆଲୋକର ବେଗ ତୁଳନାରେ କମ୍ ଥାଏ, ସେତେବେଳେ ସଂବେଗ ବେଗ ପ୍ରତି ପ୍ରାୟ ଅନୁପାତୀ ।

ଯେତେବେଳେ ଏକ ସମାନ ବଳ କୌଣସି ବସ୍ତୁ ଉପରେ ବହୁ ସମୟ ଲାଗି ପ୍ରୟୋଗ ହୁଏ, ସେତେବେଳେ ସୁସ୍ଥାପିତ ତତ୍ତ୍ୱ ଅନୁସାରେ ବସ୍ତୁର ବେଗ

ବଢ଼ି ଆଲୋକର ବେଗଠାରୁ ବି ଅଧିକା ହୋଇପାରେ । କିନ୍ତୁ ଆପେକ୍ଷିକ ତତ୍ତ୍ୱ ଅନୁସାରେ ବସ୍ତୁର ବେଗ ଆଲୋକର ବେଗଠାରୁ ଅଧିକା ହୋଇ ପାରିବ ନାହିଁ। ତେଣୁ ସଂବେଗ କ୍ରମେ ବଢ଼ିବାକୁ ଲାଗେ । ବସ୍ତୁର ବେଗ ଆଲୋକ ବେଗର ପାଖାପାଖି ହେଲେ, ବେଗର ବିଶେଷ ପରିବର୍ତ୍ତନ ହୁଏ ନାହିଁ। କିନ୍ତୁ ସଂବେଗର ପରିମାଣ ବଢ଼ି ଚାଲେ । ସଂବେଗ ବସ୍ତୁତ୍ୱ ଓ ବେଗର ଗୁଣଫଳ ସଙ୍ଗେ ସମାନ ହୋଇଥିବାରୁ ବସ୍ତୁତ୍ୱର ପରିମାଣ ବଢ଼େ । ସେଥିପାଇଁ ବସ୍ତୁର ସଂବେଗକୁ ନିମ୍ନମତେ ପ୍ରକାଶ କରାଯାଇଥାଏ $vm = \frac{m_0 v}{\sqrt{1-v^2/c^2}}$ । ପଦାର୍ଥର ବସ୍ତୁତ୍ୱ ସ୍ଥିର ଅବସ୍ଥାରେ m_0 ବୋଲି ଧରି ନିଆଗଲେ ଗତିଶୀଳ ଅବସ୍ଥାରେ ଏହାର ବସ୍ତୁତ୍ୱ ହେବ

$$m = \frac{m_0}{\sqrt{1-v^2/c^2}} \qquad (2.11)$$

ଏହି ପ୍ରକାର ବସ୍ତୁତ୍ୱର ପରିବର୍ତ୍ତନ ଇଲେକଟ୍ରନ୍‌ଗୁଡ଼ିକ ପାଇଁ ମପା ଯାଇଅଛି ।

ଉଦାହରଣ—

ଇଲେକଟ୍ରନ୍‌ର ବସ୍ତୁତ୍ୱ ସ୍ଥିର ଅବସ୍ଥାରେ 9.1×10^{-28} ଗ୍ରାମ୍ ହେଲେ, ତାହାର ପରିବେଗ କେତେ ହେଲେ ବସ୍ତୁତ୍ୱର ପରିମାଣ ତିନିଗୁଣ ହେବ ?

ଦିଆ ଅଛି $m=3m_0$

ତେଣୁ ସମୀକରଣ (2.11) ଅନୁସାରେ

$$1-\frac{v^2}{c^2}=\frac{m_0^2}{m^2}=\frac{1}{9}$$

$$\text{କିମ୍ବା } \frac{v^2}{c^2}=\frac{8}{9} \quad \text{କିମ୍ବା } \quad v=\frac{2\sqrt{2}}{3}c$$

୭ । ଗତି ଶକ୍ତି (Kinetic Energy)

ଏକ ଆବଦ୍ଧ ଗ୍ୟାସକୁ ଗରମ କଲେ ଅଣୁଗୁଡ଼ିକର ବେଗ ବଢ଼େ । ତେଣୁ ଆପେକ୍ଷିକ ତତ୍ତ୍ୱ ଅନୁସାରେ ଗ୍ୟାସର ବସ୍ତୁତ୍ୱ ମଧ୍ୟ ବଢ଼େ । ଅଣୁଗୁଡ଼ିକର ବେଗ ଅତି କମ୍ ହେଲେ ବସ୍ତୁତ୍ୱର ବୃଦ୍ଧି ଏତେ କମ୍ ହୁଏ ଯେ ତାହା ଜଣା ପଡେ ନାହିଁ। କିନ୍ତୁ ଅଣୁଗୁଡ଼ିକର ବେଗ ବେଶୀ ହେଲେ ବସ୍ତୁତ୍ୱର

ବୃଦ୍ଧି ବେଶୀ ହୁଏ ଓ ବୃଦ୍ଧିର ପରିମାଣ ସମୀକରଣ ସାହାଯ୍ୟରେ ପ୍ରକାଶ କରାଯାଇପାରେ । ଦ୍ୱିପଦ ପ୍ରମେୟ (Binomial theorem) ସାହାଯ୍ୟରେ ଆମେ ପାଉଁ

$$\frac{m_0}{(1-v^2/c^2)}=m_0\left(1+\frac{1}{2}\,\frac{v^2}{c^2}+\frac{3}{8}\,\frac{v^4}{c^4}\cdots\cdots\right)\;..(2.12)$$

v ର ପରିମାଣ c ତୁଳନାରେ କମ୍ ହେଲେ v^4/c^4 କୁ v^2/c^2 ତୁଳନାରେ ଛାଡ଼ି ଦିଆ ଯାଇପାରେ । ତେଣୁ ଆମେ ପାଉଁ

$$m\simeq m_0+\frac{1}{2}\,m_0\,v^2\left(\frac{1}{c^2}\right)\;\ldots\ldots\ldots.(2.13)$$

ଉପର ସମୀକରଣରୁ ଜଣାପଡ଼େ ଯେ ଡାହାଣ ପଟେ ଥିବା ପ୍ରଥମ ରାଶି ହେଉଛି ସ୍ଥିର ବସ୍ତୁତ୍ୱ ଓ ଦ୍ୱିତୀୟ ରାଶି ହେଉଛି ବେଗର ବୃଦ୍ଧି ଯୋଗୁ ବସ୍ତୁତ୍ୱର ବୃଦ୍ଧି । ତେଣୁ ଆମେ କହି ପାରିବା ବସ୍ତୁତ୍ୱର ବୃଦ୍ଧି ତାପର ବୃଦ୍ଧି ପ୍ରତି ଅନୁପାତୀ । ନିଉଟନ୍‌ଙ୍କ ତତ୍ତ୍ୱ ଅନୁସାରେ ଗତି ଶକ୍ତିର ପରିମାଣ ହେଉଛି $\frac{1}{2}m_0v^2$ । ତେଣୁ ଆମେ କହି ପାରିବା ବସ୍ତୁତ୍ୱର ବୃଦ୍ଧି$=\dfrac{\text{ଗତି ଶକ୍ତି}}{c^2}$ ଅଥବା

$$\text{ସମୁଦାୟ ଶକ୍ତି}=mc^2$$
$$=\text{ଗତି ଶକ୍ତି}+m_0c^2\;\;\ldots\;\ldots\;\ldots\;\ldots\;(2.14)$$

ଉଦାହରଣ—

ଗୋଟିଏ ଇଲେକଟ୍ରନ୍‌ର ଗତି ଶକ୍ତି 600 କି: ଇ: ଭୋ: ହେଲେ ତାହାର ସ୍ଥିର ଶକ୍ତି, ସମୁଦାୟ ଶକ୍ତି, ବସ୍ତୁତ୍ୱ ଏବଂ ବେଗ ନିର୍ଣ୍ଣୟ କର ।

$$\text{ସ୍ଥିର ଶକ୍ତି}=m_0c^2$$
$$=9.11\times10^{-31}\text{ କି:ଗ୍ରା:}\times(3\times10^8\text{ ମି/ସେ})^2$$
$$=8.19\times10^{-14}\text{ ଯୁଲ୍}=\frac{8.19\times10^{-14}}{1.6\times10^{-19}}\text{ ଇ: ଭୋ:}$$
$$=511\text{ କି: ଇ: ଭୋ:}$$

$$\text{ସମୁଦାୟ ଶକ୍ତି}=(511+600)\text{ କି: ଇ: ଭୋ:}$$
$$=1111\text{ କି: ଇ: ଭୋ:}$$

ବସ୍ତୁତ୍ୱ ନିର୍ଣ୍ଣୟ କରିବା ପାଇଁ ଆମେ ଲେଖି ପାରିବା

$$m=m_0\,\frac{mc^2}{m_0c^2}=m_0\,\frac{\text{ସମୁଦାୟ ଶକ୍ତି}}{\text{ସ୍ଥିର ଶକ୍ତି}}$$
$$=m_0\,\frac{1111}{511}=m_0\times2{\cdot}17=19{\cdot}77\times10^{-31}\text{ କି:ଗ୍ରା:}$$

ବେଗ ନିର୍ଣ୍ଣୟ କରିବା ପାଇଁ ଆମେ ଲେଖି ପାରିବା

$$m=2{\cdot}17m_0 \doteq m_0\left(1-\frac{v^2}{c^2}\right)^{-\frac{1}{2}}$$

କିମ୍ବା $\left(1-\frac{v^2}{c^2}\right)=\frac{1}{(2{\cdot}17)^2}$

ତେଣୁ $v=0.28c$

୮ । ସମୟର ପ୍ରସାର (Time dilatation)

ମନେକର s^1 ନାମକ ଏକ ସ୍ଥାନାଙ୍କ ପଦ୍ଧତିରେ ଗୋଟିଏ ଘଟଣା $t_1{}^1$ ସମୟରେ ଏବଂ ଅନ୍ୟ ଏକ ଘଟଣା $t_2{}^1$ ସମୟରେ ଏକ ଜାଗାରେ ଘଟୁଥିବାର ଦେଖାଗଲା । ତାହାହେଲେ ଅନ୍ୟ ଏକ ସ୍ଥାନାଙ୍କ ପଦ୍ଧତି s ରେ ଘଟଣା ଦୁଇଟି ଦୁଇ ଭିନ୍ନ ଜାଗାରେ ଘଟୁଥିବାର ଦେଖା ଯିବ । ଯଦି s ସ୍ଥାନାଙ୍କ ପଦ୍ଧତିରେ ଗୋଟିଏ (x_1, y, z, t_1) ସ୍ଥାନାଙ୍କରେ ଏବଂ ଅନ୍ୟଟି (x_2, y, z, t_2) ସ୍ଥାନାଙ୍କରେ ଘଟୁଥିବାର ଜଣାଯାଏ, ତେବେ

$$x_2-x_1=v(t_2-t_1)$$

ଯେଉଁଠାରେ v, s^1 ସ୍ଥାନାଙ୍କ ପଦ୍ଧତିର ବେଗ ସମୀକରଣ (2.5) ଓ (2.8) ଅନୁସାରେ

$$t_2-t_1=\frac{1}{v}\left[\frac{x_2{}^1+vt_2{}^1}{\sqrt{1-v^2/c^2}}-\frac{x_1{}^1+vt_1{}^1}{\sqrt{1-v^2/c^2}}\right]$$

$$=\frac{t_2{}^1-t_1{}^1}{\sqrt{1-v^2/c^2}} \qquad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (2.15)$$

ଯେହେତୁ $x_2{}^1=x_1{}^1$ ।

ସମୀକରଣ (2.15) ରୁ ଜଣାଯାଏ

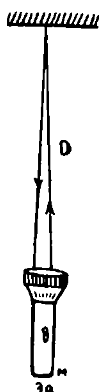
$$t_2-t_1 > t_2{}^1-t_1{}^1$$

ଅର୍ଥାତ୍ s ସ୍ଥାନାଙ୍କ ପଦ୍ଧତିରେ ଥିବା ଦର୍ଶକକୁ ଜଣାଯିବ ଯେ ସମୟର ପ୍ରସାର ଘଟୁଛି । ତେଣୁ ଗତି କରୁଥିବା ଘଡ଼ି ଏକ ସ୍ଥିର ଥିବା ଘଡ଼ି ଅନୁସାରେ ଧୀରେ ଚାଲେ ।

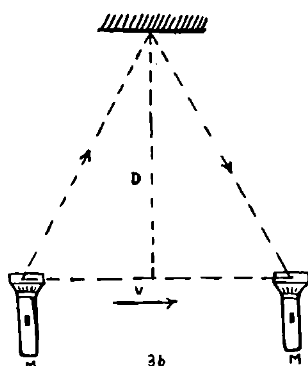
ସମୟର ପ୍ରସାରରୁ ଜଣାଯାଏ ଦୁଇଟି ଯାଆଁଳା ଭାଇ ମଧ୍ୟରୁ ଗୋଟିଏ ଅତି ବେଶୀ ଗତିବେଗରେ ଏକ ଦୂର ସ୍ଥାନକୁ ଯାଇ ଯଦି ଫେରିଆସେ ତେବେ ସେ ଦେଖିବ ଯେ ତାର ଅନ୍ୟ ଭାଇର ବୟସ ତାଠାରୁ ବେଶୀ ହୋଇ ଯାଇଛି ।

ସାଧାରଣ ଅନୁଭୂତିରୁ ଜଣାଯାଏ ଏହା ଠିକ ନୁହେଁ ଏବଂ ଏହା ଏକ ବିରୋଧାଭାସ (Paradox)। କିନ୍ତୁ ଏହାର ସଠିକତା ନିମ୍ନଲିଖିତ ଆଲୋଚନାରୁ ଅତି ସହଜରେ ବୁଝି ହେବ।

ମନେକର ଏକ ଦ୍ରୁତଗାମୀ ଟ୍ରେନରେ ଯାଉଥିବା ଜଣେ ଲୋକ ତଳର ଚଟାଣରୁ ଟର୍ଚ୍ଚ ଆଲୋକ ଟ୍ରେନ ଛାତ ଉପରକୁ ଚଟାଣ ସହିତ ଲମ୍ବ ଭାବରେ ପକାଇଲା। ଆଲୋକ ଏକ ଦର୍ପଣ ଦ୍ୱାରା ପ୍ରତିଫଳିତ ହୋଇ ପୁଣି ଲାଇଟ୍ ପାଖକୁ ଫେରି ଆସିଲା। ଟ୍ରେନରେ ଯାଉଥିବା ଲୋକଟି ଦେଖିବ ଯେ ଆଲୋକ ଚଟାଣ ପ୍ରତି ଲମ୍ବ ଭାବରେ ଯାଇ ଲମ୍ବ ଭାବରେ ଫେରି ଆସିଲା। କିନ୍ତୁ ଷ୍ଟେସନରେ ସ୍ଥିର ଅବସ୍ଥାରେ ଥିବା ଗୋଟିଏ ଲୋକ ଦେଖିବ ଯେ ଆଲୋକ ଛାତରେ ଥିବା ଦର୍ପଣ ଦ୍ୱାରା ପ୍ରତିଫଳିତ ହୋଇ ଫେରି ଆସିଲା ବେଳକୁ ଟର୍ଚ୍ଚ ଲାଇଟ୍ ସେହି ସମୟ ମଧ୍ୟରେ କିଛି ଦୂର ଚାଲି ଯାଇଥିବ। ଟ୍ରେନ୍‌ରେ ଥିବା ଲୋକ ପାଇଁ ଆଲୋକର ପଥ 2D ହେଲେ, ସ୍ଥିର ଥିବା ଲୋକ ପାଇଁ ଆଲୋକର ପଥ $\frac{2D}{\sqrt{1-v^2/c^2}}$ ହେବ। ଆଲୋକର ବେଗ ସବୁବେଳେ ସମାନ ହୋଇଥିବାରୁ ସ୍ଥିର ଥିବା ଲୋକ ଦେଖିବ ଯେ ଆଲୋକ ଟର୍ଚ୍ଚରୁ ବାହାରି ପୁଣି ଟର୍ଚ୍ଚ ପାଖକୁ ଫେରି ଆସିବାକୁ ବେଶୀ ସମୟ ନେଉଛି। କାରଣ ଆଲୋକକୁ ବେଶୀ ବାଟ ଯିବାକୁ ପଡୁଛି।



ଟ୍ରେନ ଭିତରେ ଥିବା ଦର୍ଶକ ପାଇଁ ଆଲୋକର ଗତିପଥ



ପ୍ଲାଟଫର୍ମରେ ସ୍ଥିର ଥିବା ଦର୍ଶକ ପାଇଁ ଆଲୋକର ଗତିପଥ

ଚିତ୍ର (2.3)

ଉଦାହରଣ—

ଗୋଟିଏ ମହାଶୂନ୍ୟ ଯାନରେ ଥିବା ଜଣେ ଲୋକ ପ୍ରତି 8 ଘଣ୍ଟା କାମ କଲା ପରେ ବିଶ୍ରାମ ନିଏ । ଯଦି ଯାନଟି ପୃଥିବୀ ପ୍ରତି 0.6c ବେଗରେ ଗତି କରୁଥାଏ, ତେବେ ପୃଥିବୀର ସମୟ ଅନୁପାତରେ ମହାକାଶ ଯାନର ଲୋକଟି କେତେ ଘଣ୍ଟା ପରେ ଥରେ ବିଶ୍ରାମ ନିଏ ?

ଦିଆଅଛି $t_2{}^1 - t_1{}^1 = 8$ ଘଣ୍ଟା, $v = 0.6c$

$$t_2 - t_1 = \frac{8}{\sqrt{1-\cdot 36}} = \frac{8}{\cdot 8} = 10 \text{ ଘଣ୍ଟା}$$

ପ୍ରଶ୍ନମାଳା

1. ପୃଥିବୀ ପୃଷ୍ଠରେ ଗୋଟିଏ ରକେଟର ଲମ୍ବ 100 ମିଟର । ଯଦି ରକେଟଟି ପୃଥିବୀରୁ ବାହାରି ସେକେଣ୍ଡକୁ 3×10^5 ମିଟର ବେଗରେ ଯାଏ, ତେବେ ପୃଥିବୀ ଉପରେ ଥିବା ଲୋକଙ୍କୁ ରକେଟର ଲମ୍ବ କେତେ ଦେଖା ଯିବ ?

2. ପ୍ରମାଣ କର ଯେ ଗତିଶୀଳ ବସ୍ତୁର ଲମ୍ବ $\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}$ ଗୁଣ କମି ଯାଉଥିବାରୁ ମାଇକେଲସନ୍ ଓ ମରଲେଙ୍କ ପରୀକ୍ଷାରେ ଫ୍ରିଂଜ୍ ବିସ୍ଥାପନ (Fringe Shift) ହୁଏ ନାହିଁ ।

3. ଆପେକ୍ଷିକ ତତ୍ତ୍ୱ ଅନୁସାରେ ସମୁଦାୟ ଶକ୍ତି ଓ ସଂବେଗ ମଧ୍ୟରେ ସମ୍ପର୍କ ନିର୍ଣ୍ଣୟ କର ?

4. ନିମ୍ନଲିଖିତ ସମୀକରଣଗୁଡ଼ିକ ପ୍ରମାଣ କର :—

(E_k = ଗତି ଶକ୍ତି)

(a) $$E_k = \frac{m_0 c^2}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}} - 1$$

(b) $$\frac{v}{c} = \left[1 - \frac{1}{1+\left(\frac{E_k}{m_0 c^2}\right)^2}\right]^{\frac{1}{2}}$$

(c) $$1 + \frac{E_k}{m_0 c^2} = \frac{1}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}}$$

5. ଗୋଟିଏ ରକେଟ ପୃଥିବୀ ପ୍ରତି $0.5c$ ବେଗରେ ଗତି କରୁଛି । ଅନ୍ୟ ଏକ ରକେଟ ପୃଥିବୀ ପୃଷ୍ଠରୁ ବାହାରି ପ୍ରଥମ ରକେଟକୁ $0.5c$ ବେଗରେ ଅତିକ୍ରମ କଲା । ତାହାହେଲେ ପୃଥିବୀ ପ୍ରତି ଦ୍ୱିତୀୟ ରକେଟର ବେଗ କେତେ ?

6. ଗୋଟିଏ ରକେଟ ପୃଥିବୀ ପ୍ରତି $0.4c$ ବେଗରେ ଗତି କରୁଥିବାବେଳେ ରକେଟରେ ଥିବା ଗୋଟିଏ ଦର୍ଶକ ଦେଖିଲା ଯେ ଗୋଟିଏ ଉଲ୍କା $0.6c$ ବେଗରେ ରକେଟକୁ ଅତିକ୍ରମ କଲା । ତେବେ ଉଲ୍କାର ପୃଥିବୀ ପ୍ରତି ବେଗ କେତେ ?

7. ଜଣେ ଲୋକ $0.8c$ ବେଗରେ ଥିବାବେଳେ ଦେଖିଲା ଯେ ଆଉ ଜଣେ ଲୋକ ଗୋଟିଏ ଷ୍ଟେନ୍ ପଥର ଝଣ୍ଡକୁ ତଳୁ ଉଠାଇ ହାତରେ 10 ମିନିଟ ପର୍ଯ୍ୟନ୍ତ ଧରି ପୁଣି ତଳକୁ ପକାଇ ଦେଲା, ତେବେ ସେ ଲୋକଟି ନିଜ ଘଣ୍ଟା ଅନୁସାରେ କେତେ ସମୟ ପଥରଟିକୁ ଧରି ଥିବ ?

8. ଗୋଟିଏ ଇଲେକଟ୍ରନ୍‌ରେ ସ୍ଥିର ବସ୍ତୁତ୍ୱ m_0 ଓ ବେଗ v । ଯଦି v ର ପରିମାଣ କମ୍ ହୁଏ, ତେବେ ପ୍ରମାଣ କର ଯେ—

$$\text{ତାର ଗତି ଶକ୍ତି} = \frac{1}{2} m_0 v^2$$

9. ଯଦି ଗୋଟିଏ କଣିକାର ବେଗ v, ସଂବେଗ P ଓ ଶକ୍ତି E ହୁଏ, ତେବେ ପ୍ରମାଣ କର ଯେ—

$$\frac{v}{c}E = Pc$$

10. ଗୋଟିଏ ଇଲେକଟ୍ରନ୍‌ର ସ୍ଥିର ବସ୍ତୁତ୍ୱ 9×10^{-28} ଗ୍ରାମ୍ । ଗତିଶୀଳ ଅବସ୍ଥାରେ ତାର ବସ୍ତୁତ୍ୱ 3×10^{-28} ଗ୍ରାମ୍ ହେଲେ, ତାର ବେଗ ନିର୍ଣ୍ଣୟ କର ।

11. ଗୋଟିଏ ଇଲେକଟ୍ରନ୍‌ର ଗତି ଶକ୍ତି 1 ମି: ଇ: ଭୋ: ହେଲେ, ତାର ବସ୍ତୁତ୍ୱ ଓ ବେଗ ନିର୍ଣ୍ଣୟ କର ।

12. ଗୋଟିଏ ଇଲେକଟ୍ରନ୍‌ର ବସ୍ତୁତ୍ୱ 9×10^{-31} କି: ଗ୍ରା: ଓ ତାହା $0.1c$, $0.9c$ ଓ $.99c$ ବେଗରେ ଗଲେ, ତାର ବସ୍ତୁତ୍ୱର ପରିମାଣ ନିର୍ଣ୍ଣୟ କର ।

13. ଗୋଟିଏ ପ୍ରୋଟନର ବେଗ $0.8c$ ହେଲେ, ତାର ବସ୍ତୁତ୍ୱ ବୃଦ୍ଧିର ପରିମାଣ ବାହାର କର ।

($M_p = 1.67 \times 10^{-27}$ କି:ଗ୍ରା:)

14. 0.1 ଗ୍ରାମ୍ କୋଇଲା ଜଳିଲେ 750 କ୍ୟାଲୋରି ଶକ୍ତି ମିଳେ । 0.1 ଗ୍ରାମ କୋଇଲା ଶକ୍ତିରେ ପରିଣତ ହେଲେ, କେତେ ଅଧିକ ଶକ୍ତି ମିଳିବ ।

15. ମନେକର ଗୋଟିଏ ଉଡ଼ାଜାହାଜ ପୃଥିବୀ ଚାରିପାଖେ ସେକେଣ୍ଡକୁ 270 ମିଟର ବେଗରେ ବୁଲୁଛି । କେତେ ବର୍ଷ ପରେ ପୃଥିବୀ ପୃଷ୍ଠରେ ଥିବା ଗୋଟିଏ ଘଣ୍ଟା ଓ ଉଡ଼ାଜାହାଜରେ ଥିବା ଗୋଟିଏ ଘଣ୍ଟା ମଧ୍ୟରେ ସମୟର ବ୍ୟବଧାନର ତାରତମ୍ୟ 1 ସେକେଣ୍ଡ ହେବ ?

16. ଗୋଟିଏ କଣିକା ସ୍ଥିର ଅବସ୍ଥାରେ 10^{-7} ସେକେଣ୍ଡ ପର୍ଯ୍ୟନ୍ତ ତିଷ୍ଠି ରହିପାରେ । କିନ୍ତୁ ଏହା ଯଦି $0.98c$ ବେଗରେ ଗତିକରେ, ତେବେ ସୃଷ୍ଟି ହେବାଠାରୁ କେତେ ସମୟ ପର୍ଯ୍ୟନ୍ତ ତିଷ୍ଠି ରହି ପାରିବ ?

17. ପୃଥିବୀ ସୂର୍ଯ୍ୟଠାରୁ ପ୍ରତି ବର୍ଗ ସେ:ମି: ପ୍ରତି ମିନଟ୍‌ରେ 2 କ୍ୟାଲୋରି ଶକ୍ତି ପାଏ । ତାହାହେଲେ ଏକ ବର୍ଷରେ କେତେ ଗ୍ରାମ ଓଜନର ବସ୍ତୁତ୍ୱ ସୂର୍ଯ୍ୟଙ୍କଠାରୁ ଆସି ପୃଥିବୀ ଉପରେ ପଡ଼େ ?

ତୃତୀୟ ଅଧ୍ୟାୟ

ଫୋଟନ ଏବଂ କ୍ୱାଣ୍ଟମ୍ ତତ୍ତ୍ୱ

(Photon and quantum theory)

1900 ଖ୍ରୀଷ୍ଟାବ୍ଦର ଆରମ୍ଭରେ ଜଣାଗଲା ଯେ ବିଦ୍ୟୁତ୍ ଚୁମ୍ବକୀୟ ତରଙ୍ଗ ତତ୍ତ୍ୱ ବା ନିଉଟନଙ୍କ ଗତି ତତ୍ତ୍ୱ ଦ୍ୱାରା କେତେକ ପରମାଣବୀୟ ଘଟଣା (Atomic phenomena) ବୁଝା ଯାଇ ପାରିବ ନାହିଁ। ପ୍ଲାଙ୍କ୍ ନାମକ ଜଣେ ବୈଜ୍ଞାନିକ ଭିନ୍ନ ତାପମାତ୍ରାରେ କୃଷ୍ଣବସ୍ତୁ ବିକିରଣକୁ (Black body radiation) ବୁଝାଇବାକୁ ଯାଇ ଗୋଟିଏ ନୂତନ ତତ୍ତ୍ୱ ପ୍ରକାଶ କରିଥିଲେ। ଏହାକୁ କ୍ୱାଣ୍ଟମ୍ ତତ୍ତ୍ୱ କହନ୍ତି। ଏହି ତତ୍ତ୍ୱ ଦ୍ୱାରା ଆଲୋକ ବିଦ୍ୟୁତ୍ ପ୍ରଭାବ (Photo electric effect), କମ୍ପଟନଙ୍କ ପ୍ରଭାବ (Compton effect) ଏବଂ ଅବିଚ୍ଛିନ୍ନ ରଞ୍ଜନ ରଶ୍ମିର ବର୍ଣ୍ଣାଳୀ (continuous X-Ray spectrum) ବିଷୟଗୁଡ଼ିକ ସହଜରେ ବୁଝା ଯାଇ ପାରିଲା।

୧। କୃଷ୍ଣବସ୍ତୁ ବିକିରଣ (Black body radiation)

ଭିତର କଳା ହୋଇଥିବା ଏକ ବାକ୍ସରେ ରହିଥିବା ବିଦ୍ୟୁତ୍ ଚୁମ୍ବକୀୟ ବିକିରଣକୁ (Electromagnetic radiation) କୃଷ୍ଣବସ୍ତୁ ବିକିରଣ କହନ୍ତି। କଳା ବାକ୍ସରୁ ଗୋଟିଏ ଛୋଟ କଣା ଦେଇ ବାହାରି ଆସୁଥିବା ବିକିରଣ ସାହାଯ୍ୟରେ କୃଷ୍ଣବସ୍ତୁ ବିକିରଣର ଧର୍ମଗୁଡ଼ିକ ପରୀକ୍ଷା କରା ଯାଇପାରେ।

ପ୍ଲାଙ୍କ 1901 ଖ୍ରୀଷ୍ଟାବ୍ଦରେ କଳ୍ପନା କରିଥିଲେ ଯେ ବାକ୍ସରେ ଅସଂଖ୍ୟ କ୍ଷୁଦ୍ର ଦୋଳକ (oscillator) ରହି ଶକ୍ତି ବିକିରଣ ଓ ଅବଶୋଷଣ (absorb) କରନ୍ତି। କିନ୍ତୁ ଶକ୍ତି ବିକିରଣର (ବା ଅବଶୋଷଣର) ପରିମାଣ ମନମୁତାବକ ନ ହୋଇ ଗୋଟିଏ କ୍ଷୁଦ୍ର ପରିମାଣର (କ୍ୱାଣ୍ଟମ୍ ଧ୍ରୁବାଙ୍କ) ଗୁଣିତକ ହୁଏ। ଏହି କ୍ଷୁଦ୍ର ଶକ୍ତିକୁ ଶକ୍ତି କ୍ୱାଣ୍ଟମ୍ (Quantum of Energy) କହନ୍ତି। ଏହି ଶକ୍ତି କ୍ୱାଣ୍ଟମ୍‌ର ପରିମାଣ ବିକିରଣର ଆବୃତ୍ତି ଉପରେ ନିର୍ଭର କରେ ଓ ଏହାର କ୍ଷୁଦ୍ରତମ ପରିମାଣ ହେଲା

$$E = h\nu \quad \ldots (3.1)$$

ଏହିଠାରେ h ଏକ ଧ୍ରୁବାଙ୍କ । ଏହି ଧ୍ରୁବାଙ୍କ h କୁ ପ୍ଲାଙ୍କ୍ ଧ୍ରୁବାଙ୍କ କୁହାଯାଏ । ଏହାର ବିମିତି (Dimension) ହେଲା ଶକ୍ତି-ସମୟ କିମ୍ବା ସଂବେଗ ଦୂରତା ।

ପରୀକ୍ଷା ଲବ୍ଧ ଫଳରୁ ଜଣାଗଲା ଯେ $h=6.62\times10^{-27}$ ଅର୍ଗ-ସେକେଣ୍ଡ । ପରେ ପ୍ଲାଙ୍କଙ୍କ କ୍ୱାଣ୍ଟମ ଚିନ୍ତାଧାରାକୁ ଆଲୋକ ବିଦ୍ୟୁତ ପ୍ରଭାବ (Photo electric effect), ଉଦ୍‌ଜାନ ବର୍ଣ୍ଣାଳୀ (Hydrogen Spectrum), କମ୍ପଟନ୍ ପ୍ରଭାବ (Compton effect) ପ୍ରଭୃତି ଅନ୍ୟ କେତେକ ଭୌତିକ ଘଟଣାରେ ବ୍ୟବହାର କରି ପ୍ଲାଙ୍କ୍ ଧ୍ରୁବାଙ୍କର ପରିମାଣ ନିର୍ଣ୍ଣୟ କରା ଯାଇଥିଲା ଓ ସମାନ ଫଳ ମିଳିଥିଲା । ସେହି ସବୁ ଭୌତିକ ଘଟଣାକୁ ଏଠାରେ ସମ୍ୟକ୍ ଆଲୋଚନା କରାଯାଉ ।

୨ । ଫୋଟନ୍ ଏବଂ ଆଲୋକ ବିଦ୍ୟୁତ ପ୍ରଭାବ (Photon and Photo electric effect)

ନିର୍ଦ୍ଦିଷ୍ଟ ଆବୃତ୍ତି (Frequency) ବିଶିଷ୍ଟ ବିଦ୍ୟୁତ ଚୁମ୍ବକୀୟ ତରଙ୍ଗ (Electromagnetic Waves) କେତେକ ଧାତବ ପୃଷ୍ଠ (Metallic Surface) ଉପରେ ପଡ଼ିଲେ ଇଲେକଟ୍ରନ୍ ଉତ୍ସର୍ଜନ (Emission) ହୁଏ । ପରୀକ୍ଷାରୁ ଜଣା ଯାଇଥିଲା ଯେ (1) ବିଦ୍ୟୁତ ଚୁମ୍ବକୀୟ ତରଙ୍ଗ ଧାତବ ପୃଷ୍ଠରେ ପଡ଼ିବା ଓ ଇଲେକଟ୍ରନ୍ ଉତ୍ସର୍ଜନ ମଧ୍ୟରେ ସମୟର ବ୍ୟବଧାନ ପ୍ରାୟ ନ ଥାଏ । (2) ଉତ୍ସର୍ଜିତ ଆଲୋକ ଇଲେକଟ୍ରନ୍ (Photo electron) ର ଶକ୍ତି, ବିଦ୍ୟୁତ ଚୁମ୍ବକୀୟ ତରଙ୍ଗର ତୀବ୍ରତା (Intensity) ଉପରେ ନିର୍ଭର କରେ ନାହିଁ ; କିନ୍ତୁ ଆବୃତ୍ତି (Frequenuy) ଉପରେ ନିର୍ଭର କରେ । (3) ଯଦି ଧାତବ ପୃଷ୍ଠ ଓ ସଂଗ୍ରାହକ ଫଳକ (Collector Plate) ମଧ୍ୟରେ ବିଭବାନ୍ତର ପ୍ରୟୋଗ କରାଯାଏ, ତେବେ ଇଲେକଟ୍ରନ୍‌ର ଗତି ଶକ୍ତି ହ୍ରାସ ପାଏ । ଯେଉଁ ସର୍ବନିମ୍ନ ବିଭବାନ୍ତର ପ୍ରୟୋଗରେ ଇଲେକଟ୍ରନ୍ ଉତ୍ସର୍ଜନ ହୁଏ ନାହିଁ, ସେହି ବିଭବାନ୍ତର ପାଇଁ

$$eV=\tfrac{1}{2}mv^2 \quad \ldots \quad \ldots \quad (3.2)$$

(4) ଉତ୍ସର୍ଜିତ ଆଲୋକ ଇଲେକଟ୍ରନ୍‌ର ସଂଖ୍ୟା ତରଙ୍ଗର ତୀବ୍ରତା ଉପରେ ନିର୍ଭର କରେ । (5) ନିର୍ଦ୍ଦିଷ୍ଟ ତରଙ୍ଗ ଦୈର୍ଘ୍ୟଠାରୁ ବେଶୀ ଥିବା ବିଦ୍ୟୁତ ଚୁମ୍ବକୀୟ ତରଙ୍ଗ ଦ୍ୱାରା ନିର୍ଦ୍ଦିଷ୍ଟ ଧାତବ ପୃଷ୍ଠ ଉପରୁ ଇଲେକଟ୍ରନ୍ ଉତ୍ସର୍ଜନ ହୁଏ ନାହିଁ ।

ଏହିସବୁ ପରୀକ୍ଷା ଲବ୍ଧ ସତ୍ୟକୁ ବ୍ୟାଖ୍ୟା କରିବାକୁ ଯାଇ 1905 ମସିହାରେ ଆଇନ୍‌ଷ୍ଟାଇନ୍ ପ୍ରକାଶ କଲେ ଯେ ବିଦ୍ୟୁତ ଚୁମ୍ବକୀୟ ଶକ୍ତି କ୍ୱାଣ୍ଟା ଆକାରରେ ବିକିରଣ (radiation) ଏବଂ ଅବଶୋଷଣ (absorb) ହେବା ସଙ୍ଗେ ସଙ୍ଗେ କ୍ୱାଣ୍ଟା ଆକାରରେ ଏକ ସ୍ଥାନରୁ ଅନ୍ୟ ସ୍ଥାନକୁ ପ୍ରବାହିତ ହୁଏ । ସେ ଏହି କ୍ୱାଣ୍ଟାର ନାମ ଫୋଟନ୍ (Photon) ରଖିଥିଲେ । ମନେକର ν ଆବୃତ୍ତି ବିଶିଷ୍ଟ ଏକ ଫୋଟନ ଏକ ଧାତବ ପୃଷ୍ଠ ଉପରେ ପଡ଼ିବାରୁ v ପରିବେଗ ବିଶିଷ୍ଟ ଏକ ଇଲେକଟ୍ରନର ଉତ୍ସର୍ଜନ ହେଲା । ଏଠାରେ ଫୋଟନର ଶକ୍ତି $h\nu$ । ଏହି ଶକ୍ତିର କିଛି ଅଂଶ ଇଲେକଟ୍ରନ୍‌ର ଗତି ଶକ୍ତି $\frac{1}{2}mv^2$ ରେ ରୂପାନ୍ତରିତ ହେଲା । ଅବଶିଷ୍ଟ ଅଂଶ ଧାତବ ପୃଷ୍ଠରୁ ଇଲେକଟ୍ରନ୍ ଉତ୍ସର୍ଜନ କରିବା ପାଇଁ ବ୍ୟୟିତ ହେଲା । ଯଦି ଇଲେକଟ୍ରନ୍ ଉତ୍ସର୍ଜନ ପାଇଁ ଦରକାର ହେଉଥିବା ଶକ୍ତିର ପରିମାଣ W_o ହୁଏ, ତେବେ ଆମେ ଲେଖି ପାରିବା ଯେ :–

$$h\nu = W_o + \frac{1}{2}mv^2 \quad \ldots \quad \ldots \quad (3.3)$$

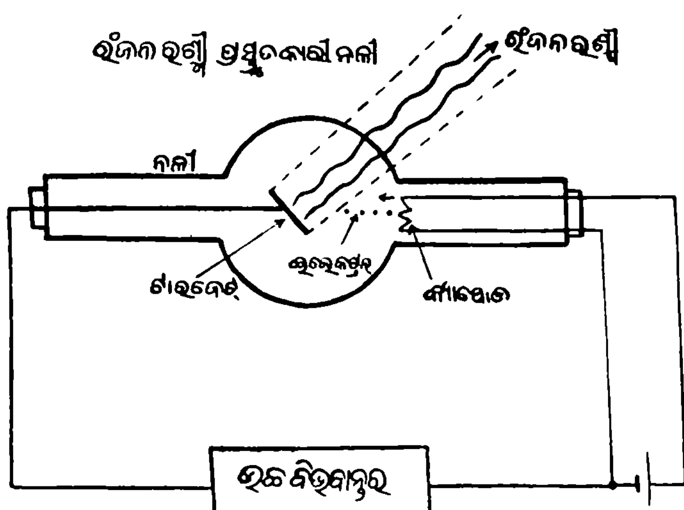
ଏଠାରେ W_o କୁ କାର୍ଯ୍ୟ ଫଳନ (work function) କୁହାଯାଏ । ଏହି ସମୀକରଣକୁ ଆଇନ୍‌ଷ୍ଟାଇନ୍ ପ୍ରଥମେ ପ୍ରକାଶ କରିଥିଲେ ।

ଉପରୋକ୍ତ ସମୀକରଣକୁ ଆଲୋଚନା କଲେ ଜଣାଯାଏ ଯଦି ବିଦ୍ୟୁତ ଚୁମ୍ବକୀୟ ତରଙ୍ଗର ତୀବ୍ରତା ବେଶୀ ହୁଏ, ତେବେ ଉତ୍ସର୍ଜିତ (emitted) ଇଲେକଟ୍ରନ୍‌ର ସଂଖ୍ୟା ବେଶୀ ହେବ । ଆବୃତ୍ତି ବେଶୀ ହୁଏ, ତେବେ ବେଶୀ ଗତି ଶକ୍ତି ବିଶିଷ୍ଟ ଇଲେକଟ୍ରନ୍‌ର ଉତ୍ସର୍ଜନ ହେବ ଏବଂ ଫୋଟନ୍‌ର ଶକ୍ତି, କାର୍ଯ୍ୟ ଫଳନ (work function) ଠାରୁ କମ୍ ହୁଏ, ତେବେ ସେହି ଫୋଟନ୍ ଦ୍ୱାରା ଇଲେକଟ୍ରନ୍‌ର ଉତ୍ସର୍ଜନ ହେବ ନାହିଁ । ଆଇନ୍‌ଷ୍ଟାଇନ୍‌ଙ୍କ ସମୀକରଣ ଦ୍ୱାରା ପରୀକ୍ଷାରୁ ମିଳିଥିବା ସତ୍ୟକୁ ଭଲ ଭାବରେ ବୁଝା ଯାଇ ପାରିଲା । ଆର. ଏ. ମିଲିକାନ ନାମକ ଏକ ବୈଜ୍ଞାନିକ ପରୀକ୍ଷା ଦ୍ୱାରା ଆଇନ୍‌ଷ୍ଟାଇନ୍‌ଙ୍କ ସମୀକରଣକୁ ଠିକ୍ ବୋଲି ପ୍ରମାଣ କରିଥିଲେ ।

୩ । ଅବିଚ୍ଛିନ୍ନ ରଞ୍ଜନ ରଶ୍ମି ବର୍ଣ୍ଣାଳୀ (**Continuous X-Ray spectrum**)

ରଞ୍ଜନ ରଶ୍ମି ଏକ ପ୍ରକାର ବିଦ୍ୟୁତ ଚୁମ୍ବକୀୟ ତରଙ୍ଗ । ଏହାର ତରଙ୍ଗ ଦୈର୍ଘ୍ୟ 10^{-6} ସେ:ମି: ଠାରୁ 10^{-9} ସେ:ମି: । ରଞ୍ଜନ ରଶ୍ମିର ଉତ୍ପନ୍ନର ପ୍ରଣାଳୀ (ଚିତ୍ର 3.1) ରେ ବୁଝା ଯାଇଅଛି ।

ବିଦ୍ୟୁତ ପ୍ରବାହ (electric current) ଦ୍ୱାରା ଟଙ୍ଗ୍‌ଷ୍ଟେନ୍ ତନ୍ତୁ (Tungsten Filament) କୁ ଗରମ କରାଯାଏ । ଯାହା ଫଳରେ ତନ୍ତୁରୁ



ଚିତ୍ର (3.1)

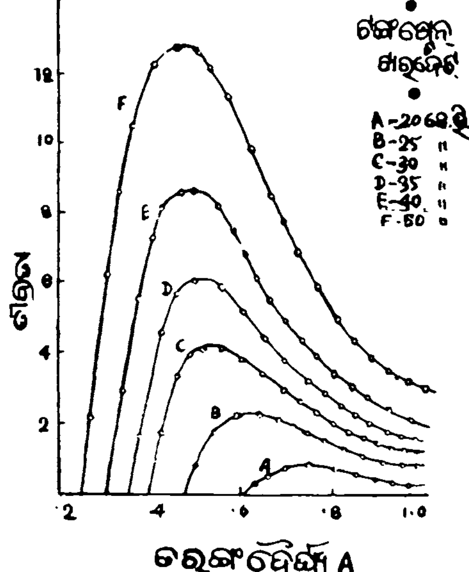
ଇଲେକଟ୍ରନ୍‌ର ଉତ୍ସର୍ଜନ (emission) ହୁଏ । ଏହି ଇଲେକଟ୍ରନ୍‌ଗୁଡ଼ିକ କେତେକ ହଜାର ଭୋଲ୍‌ଟର ବିଭବାନ୍ତର (Potential difference) ଦ୍ୱାରା ତ୍ୱରିତ (acclerated) ହୁଅନ୍ତି । ଏହି ଦ୍ରୁତଗାମୀ ଇଲେକଟ୍ରନ୍‌ଗୁଡ଼ିକ ଏକ ଧାତୁ ଦ୍ୱାରା ବାଧା ପ୍ରାପ୍ତ ହୋଇ ଗତି ଶକ୍ତି ହରାନ୍ତି ଓ ଏକ୍ସରେର ବିକିରଣ ହୁଏ । ପରୀକ୍ଷାରୁ ଜଣାଯାଏ ଏକ ନିର୍ଦ୍ଦିଷ୍ଟ ବିଭବାନ୍ତର (Potential difference) ପାଇଁ ବିକିରିତ ହେଉଥିବା ରଞ୍ଜନ ରଶ୍ମିର ଉଚ୍ଚତମ (maximum) ଆବୃତ୍ତି ନିର୍ଦ୍ଦିଷ୍ଟ । ଏହି ଉଚ୍ଚତମ ଆବୃତ୍ତି ବିଭବାନ୍ତର ପରିମାଣ ଉପରେ ନିର୍ଭର କରେ ଓ

$$\frac{\nu_m}{V} = \text{ଧ୍ରୁବାଙ୍କ} \qquad (3.4)$$

ଯେଉଁଠାରେ ν_m—ଉଚ୍ଚତମ ଆବୃତ୍ତି V=ବିଭବାନ୍ତର ।

ଅବିଚ୍ଛିନ୍ନ ରଞ୍ଜନ ରଶ୍ମି ବର୍ଣ୍ଣାଳୀର ଏହି ପ୍ରକାର ଉଚ୍ଚତମ ଆବୃତ୍ତିର ସୀମା (High frequency limit) ସଂସ୍ଥାପିତ ତତ୍ତ୍ୱ ଅନୁସାରେ ବୁଝି ହେଲା ନାହିଁ କିନ୍ତୁ ଫୋଟନ ତତ୍ତ୍ୱ ଅନୁସାରେ ଏହା ସହଜରେ ବୁଝି ହେଲା । ଦ୍ରୁତଗାମୀ ଇଲେକଟ୍ରନ୍ ବିଭିନ୍ନ ଅଣୁ ଦ୍ୱାରା ବାଧା ପାଇ ଥରକୁ ଥର ମନ୍ଥର ହୋଇ ବିଭିନ୍ନ

ଅବୃତ୍ତିର ରଞ୍ଜନ ରଶ୍ମି ବିକିରଣ କରେ । ବିକିରିତ ରଞ୍ଜନ ରଶ୍ମି ହ୍ରାସ ପାଉଥିବା ଇଲେକଟ୍ରନ୍‌ର ଗତି ଶକ୍ତି ସହ ସମାନ । ଯେତେବେଳେ ଇଲେକଟ୍ରନ୍‌ର ସମୁଦାୟ ଗତି ଶକ୍ତି ହ୍ରାସ ପାଇ ଏକ ଫୋଟନ ବିକିରଣ କରେ, ସେତେବେଳେ ଫୋଟନର ଅବୃତ୍ତି ସର୍ବୋଚ୍ଚ ହୁଏ, ତେଣୁ



ଚିତ୍ର (3.2)

$$h\nu_m = \tfrac{1}{2}mv^2 = Ve \;..\; (3.5)$$

v = ଇଲେକଟ୍ରନ୍‌ର ବେଗ ଓ

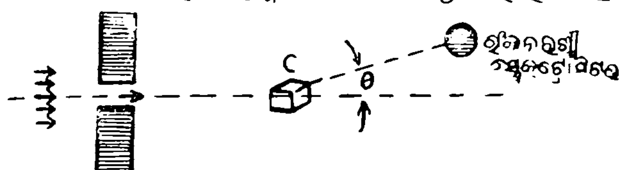
e = ଇଲେକଟ୍ରନ୍‌ର ଚାର୍ଜ ।

ଉପର ସମୀକରଣରେ ପରୀକ୍ଷାରୁ ମିଳିଥିବା ଉଚ୍ଚତମ ଅବୃତ୍ତିର ପରିମାଣକୁ ବ୍ୟବହାର କରି e/m ର ମାନ ନିର୍ଣ୍ଣୟ କରାଯାଇପାରେ । ଏହି ପ୍ରଣାଳୀରେ ମିଳିଥିବା ପ୍ଲାଙ୍କ ଧ୍ରୁବାଙ୍କର ମାନ ଅନ୍ୟ ପ୍ରଣାଳୀରେ ମିଳିଥିବା ମାନ ସହିତ ସମାନ ।

୪ । କମ୍ପଟନ୍ ପ୍ରଭାବ (Compton effect)

1923 ମସିହାରେ କମ୍ପଟନ୍ ରଞ୍ଜନ ରଶ୍ମି ପ୍ରକୀର୍ଣ୍ଣନ (scattering of X'-Rays) ଉପରେ ପରୀକ୍ଷା କରୁ କରୁ ଏକ ନୂତନ ସତ୍ୟ ଉଦ୍‌ଭାବନ କରିଥିଲେ । ଫୋଟନ ତତ୍ତ୍ୱ ବ୍ୟବହାର କରି ସେ ତାଙ୍କର ପରୀକ୍ଷା ଲବ୍ଧ ସତ୍ୟକୁ ବୁଝାଇ ପାରିଥିଲେ । ସେ ଏକ ଏକବର୍ଣ୍ଣୀ ରଞ୍ଜନ ରଶ୍ମି କିରଣ ଗୁଚ୍ଛକୁ (monochromatic X'-Ray beam) ଏକ ପଦାର୍ଥ c ଉପରେ ପକାଇ (ଚିତ୍ର 3.3 ଦେଖ) ଏକ ରଞ୍ଜନ ରଶ୍ମି ସ୍ପେକ୍‌ଟ୍ରୋମିଟର ସାହାଯ୍ୟରେ ବିଭିନ୍ନ ଦିଗରେ ପ୍ରକୀର୍ଣ୍ଣ (scatterd) ରଶ୍ମିର ବିଶ୍ଳେଷଣ କରୁଥିଲେ ବିଦ୍ୟୁତ ଚୁମ୍ବକୀୟ ତରଙ୍ଗ ତତ୍ତ୍ୱ ଅନୁସାରେ ପ୍ରକୀର୍ଣ୍ଣ ରଶ୍ମିର ତରଙ୍ଗ ଦୈର୍ଘ୍ୟ ଆପତିତ (incident)

ରଶ୍ମିର ତରଙ୍ଗ ଦୈର୍ଘ୍ୟ ସହିତ ସମାନ ହେବା ସଙ୍ଗେ ସଙ୍ଗେ ସେ ଦେଖିଲେ ଯେ କେତେକ ପ୍ରକୀର୍ଣ୍ଣ ରଶ୍ମିର ତରଙ୍ଗ ଦୈର୍ଘ୍ୟ ଆପତିତ ରଶ୍ମିର ତରଙ୍ଗ ଦୈର୍ଘ୍ୟ-



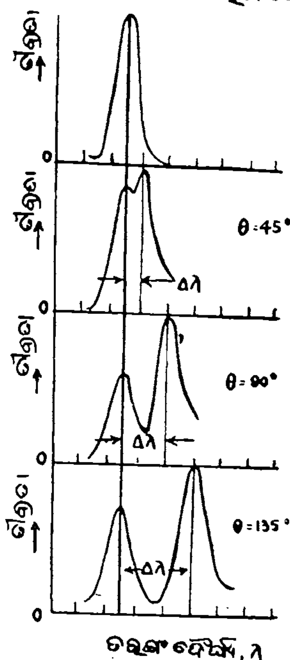
ଚିତ୍ର (3.3)

ଠାରୁ ବେଶୀ ହେଉଛି (ଚିତ୍ର 3.4 ଦେଖ) ଏବଂ ତରଙ୍ଗ ଦୈର୍ଘ୍ୟର ବିସ୍ଥାପନ (Wave length shift) ପ୍ରକୀର୍ଣ୍ଣନ କୋଣ (Scattering-angle) ବଢ଼ିବା ସଙ୍ଗେ ସଙ୍ଗେ ବଢ଼ୁଛି । ଏହି ପ୍ରକ୍ରିୟାକୁ କମ୍ପଟନ୍ ପ୍ରଭାବ (Compton effect) କହନ୍ତି ଏବଂ ଏହା ସଂସ୍ଥାପିତ ତରଙ୍ଗ ତତ୍ତ୍ୱ ଦ୍ୱାରା ବୁଝା ଯାଇ ପାରିଲା ନାହିଁ ।

ବିଦ୍ୟୁତ ଚୁମ୍ବକୀୟ ତରଙ୍ଗର ଫୋଟନ ତତ୍ତ୍ୱ ସାହାଯ୍ୟରେ କମ୍ପଟନ୍‌ଙ୍କ ପ୍ରଭାବ ଅତି ସହଜରେ ବୁଝା ଯାଇପାରେ । ଯଦି ଫୋଟନର ସ୍ଥିର ବସ୍ତୁତ୍ୱ ଥାଏ ବୋଲି ଧରି ନିଆଯାଏ, ତେବେ ତାର ସମସ୍ତ ଶକ୍ତି ଗତି ଶକ୍ତି ହେବ । ଫୋଟନର ଶକ୍ତିର ପରିମାଣ ହେଲା $E=h\nu$ ପୁଣି $E=mc^2$ ତେଣୁ $mc^2=h\nu$ ବା $m=\frac{h\nu}{c^2}$ ଫୋଟନର ସଂବେଗ (Momentom) P ହେଲେ,

$$P=mc=\frac{h\nu}{c} \quad \ldots\ldots(3.6)$$

କମ୍ପଟନ ପ୍ରକୀର୍ଣ୍ଣନକୁ ଫୋଟନ ଓ ପ୍ରକୀର୍ଣ୍ଣନ ପଦାର୍ଥରେ ଥିବା ସ୍ଥିର ଇଲେକଟ୍ରନ୍ ମଧ୍ୟରେ ସ୍ଥିତିସ୍ଥାପକ ସଂଘଟନ (elastic collision)



ଚିତ୍ର (3.4)

ବୋଲି ଧରିନେଲେ ସଂବେଗ ସଂରକ୍ଷଣ (Conservation of Momentom) ନିୟମ ଅନୁସାରେ (ଚିତ୍ର 3.5 ଦେଖ)

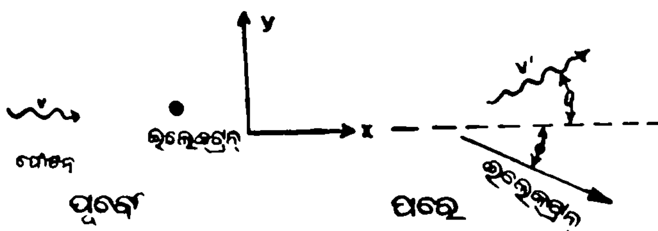
$$x \text{ ଦିଗରେ } \frac{h\nu^1}{c} \cos\theta + P\cos\phi = \frac{h\nu}{c} \quad (3.7)$$

$$y \text{ ଦିଗରେ } \frac{h\nu^1}{c} \sin\theta - P\sin\phi = 0 \quad (3.8)$$

ଯେଉଁଠାରେ

P=ସଂଘଟନ (Collision) ପରେ ଇଲେକଟ୍ରନ୍‌ର ସଂବେଗ ν^1=ସଂଘଟନ ପରେ ପ୍ରକୀର୍ଣ୍ଣ ଫୋଟନର ଆବୃତ୍ତି ଯେହେତୁ ଏହି ପ୍ରକ୍ରିୟାକୁ ଆମେ ସ୍ଥିତିସ୍ଥାପକ ସଂଘଟନ ବୋଲି ଧରି ନେଇଛୁ, ତେଣୁ

$$h\nu = h\nu^1 + \text{ଇଲେକଟ୍ରନ୍‌ର ଗତି ଶକ୍ତି} \quad \ldots \quad (3.9)$$



ଚିତ୍ର (3.5)

(7) ଓ (8) ନମ୍ବର ସମୀକରଣରୁ ଆମେ ପାଉଁ

$$Pc\cos\phi = h\nu - h\nu^1\cos\theta \quad \ldots \quad (3.10)$$

$$\text{ଏବଂ } Pc\sin\phi = h\nu^1\sin\theta \quad (3.11)$$

ଉପରୋକ୍ତ ସମୀକରଣର ବର୍ଗକୁ ମିଶାଇଲେ

$$P^2c^2 = (h\nu)^2 - 2\,h\nu\,h\nu^1\cos\theta + (h\nu^1)^2 \quad \ldots \quad (3.12)$$

(1.14) ନମ୍ବର ସମୀକରଣ ଅନୁସାରେ

$$E^2 = E_T^2 + m_0^2c^4 + 2E_T m_0c^2$$

$$\text{ଵା } E_T^2 + 2E_T m_0c^2 = E^2 - m_0^2c^4$$

$$= \frac{m_0^2c^4}{\left(1-\frac{v^2}{c^2}\right)} - m_0^2c^4$$

$$= P^2c^2 \quad \ldots \quad (3.13)$$

ଯେଉଁଠାରେ E=ପ୍ରକୀର୍ଣ୍ଣ ଇଲେକଟ୍ରନ୍‌ର ସମୁଦାୟ ଶକ୍ତି

E_T=ପ୍ରକୀର୍ଣ୍ଣ ଇଲେକଟ୍ରନ୍‌ର ଗତି ଶକ୍ତି

ଏବଂ P=ପ୍ରକୀର୍ଣ୍ଣ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ୍‌ର ସଂବେଗ

(3.9) ଓ (3.13) ନମ୍ବର ସମୀକରଣରୁ ମିଳେ

$$P^2c^2=(hv-hv^1)^2+2m_0c^2(hv-hv^1)\ldots(3.14)$$

(3.12) ଓ (3.14) ନମ୍ବର ସମୀକରଣରୁ ଆମେ ପାଉଁ

$$m_0c^2hv-m_0c^2hv^1=hv(1-\cos\theta)hv^1\ldots(3.15)$$

ଉପରୋକ୍ତ ସମୀକରଣକୁ h^2c^2 ଦ୍ୱାରା ଭାଗକଲେ

$$\lambda^1=\lambda+\frac{h}{m_0c}(1-\cos\theta)$$

ଯେଉଁଠାରେ ଆମେ ନେଇଛୁ $\frac{1}{\lambda}=\frac{v}{c}$

ଏହି ତରଙ୍ଗ ଦୈର୍ଘ୍ୟର ବିସ୍ଥାପନ (Shift) ପରୀକ୍ଷାରୁ ମିଳିଥିବା ଫଳ ସହିତ ମିଳିଗଲା ।

ଅପତିତ ରଞ୍ଜନ ରଶ୍ମିରୁ କେତେକ ଅଂଶ ସ୍ଥିର ପରମାଣୁମାନଙ୍କ ଦ୍ୱାରା ପ୍ରକୀର୍ଣ୍ଣ ହୋଇଥାଏ । ପରମାଣୁଗୁଡ଼ିକର ବସ୍ତୁତ୍ୱ ବେଶୀ ହେଉ ଥିବାରୁ ସେଗୁଡ଼ିକର ପ୍ରତିକ୍ଷେପ (recoil) ଏତେ କମ୍ ହୁଏ ଯେ ଫୋଟନ ଶକ୍ତିର ହ୍ରାସ ପ୍ରାପ୍ତ ହୁଏ ନାହିଁ କହିଲେ ଚଳେ । ତେଣୁ ପ୍ରକୀର୍ଣ୍ଣ ରଶ୍ମିର ତରଙ୍ଗ ଦୈର୍ଘ୍ୟ ଅପତିତ ରଶ୍ମିର ତରଙ୍ଗ ଦୈର୍ଘ୍ୟର ତଫାତ୍ ଅତି କମ୍ ହୁଏ । ସେଥିପାଇଁ ତାହା ଜଣାଯାଏ ନାହିଁ ।

ପ୍ରଶ୍ନମାଳା

1. ଚିତ୍ର (3.2) ରେ ଦିଆ ଯାଇଥିବା ବକ୍ରରେଖା C ଏବଂ A ସାହାଯ୍ୟରେ h/e ର ମାନ ନିର୍ଣ୍ଣୟ କର ।
2. ପୋଟାସିୟମର ଦେହଳି ଆବୃତ୍ତି (Threshold frequency) ସେକେଣ୍ଡକୁ 3×10^{14} ହେଲେ, ତାହାର କାର୍ଯ୍ୟଫଳନ (Work function) ର ପରିମାଣ କେତେ ? (2.0×10^{-12} ଅର୍ଗ)

3. ସୋଡିୟମ ପୃଷ୍ଠରୁ ସର୍ବୋଚ୍ଚ ତରଙ୍ଗ ଦୈର୍ଘ୍ୟ 5830 Å ଦ୍ୱାରା ଇଲେକ୍‌ଟ୍ରନ ଉତ୍ସର୍ଜନ ହୋଇପାରେ । ତେବେ ସୋଡିୟମ ଧାତବ ପୃଷ୍ଠର କାର୍ଯ୍ୟ ଫଳନ ଇ: ଭ: ରେ ପ୍ରକାଶ କର । (2.13 ଇ:ଭୋ:)

4. ଗୋଟିଏ ଧାତବ ପୃଷ୍ଠର କାର୍ଯ୍ୟଫଳନ 2 ଇ: ଭୋ: ହେଲେ, ସେହି ପୃଷ୍ଠରୁ 2500 Å ତରଙ୍ଗ ଦୈର୍ଘ୍ୟର ଆଲୋକ ଦ୍ୱାରା ଉତ୍ସର୍ଜିତ ଇଲେକ୍‌ଟ୍ରନର ସର୍ବୋଚ୍ଚ ଗତି ଶକ୍ତି କେତେ ?

5. ସୋଡିୟମ ପୃଷ୍ଠର କାର୍ଯ୍ୟଫଳନ 2.13 ଇ: ଭୋ: ହେଲେ, 4500 Å ର ତରଙ୍ଗ ଦୈର୍ଘ୍ୟ ଦ୍ୱାରା ଉତ୍ସର୍ଜିତ ଇଲେକ୍‌ଟ୍ରନ୍‌ର ସର୍ବୋଚ୍ଚ ବେଗ କେତେ ? (4.6×10^{7} ସେ:ମି:/ସେକେଣ୍ଡ)

6. 3000×10^{-8} ସେ:ମି: ତରଙ୍ଗ ଦୈର୍ଘ୍ୟ ବିଶିଷ୍ଟ ବିଦ୍ୟୁତ ଚୁମ୍ବକୀୟ ତରଙ୍ଗ ଦ୍ୱାରା ଏକ ଧାତବ ପୃଷ୍ଠରୁ ଇଲେକ୍‌ଟ୍ରନ୍ ଉତ୍ସର୍ଜନ ହୋଇପାରେ । ଯଦି ସର୍ବନିମ୍ନ 2 ଭୋଲ୍‌ଟ ବିଭବାନ୍ତର ଦ୍ୱାରା ଇଲେକ୍‌ଟ୍ରନ୍ ଉତ୍ସର୍ଜନ ହୋଇପାରେ ନାହିଁ, ତେବେ ଧାତବ ପୃଷ୍ଠର କାର୍ଯ୍ୟ ଫଳନ ବାହାର କର । (2.1 ଇ: ଭୋ:)

7. ଏକ ଆଲୋକ ବିଦ୍ୟୁତ ସେଲ (Photo Cell) ଉପରେ 3000 Å ତରଙ୍ଗ ଦୈର୍ଘ୍ୟ ବିଶିଷ୍ଟ ଆଲୋକ ପଡ଼ିବାରୁ ଉତ୍ସର୍ଜିତ ଇଲେକ୍‌ଟ୍ରନ୍‌ର ଗତି ଶକ୍ତି ହେଲା 1.6 ଇ: ଭୋ: ତେବେ ସେହି ଆଲୋକ ବିଦ୍ୟୁତ ସେଲର ଦେହଳି ଆବୃତ୍ତି (Threshold Frequency) କେତେ ?

($h = 6.6 \times 10^{-27}$ ଅର୍ଗ-ସେକେଣ୍ଡ) (4950 Å)

8. ପରୀକ୍ଷାରୁ ଜଣାଗଲା ଯେତେବେଳେ ଏକ ଧାତବ ପୃଷ୍ଠରେ ସେକେଣ୍ଡକୁ 8×10^{12} ଆବୃତ୍ତି ବିଶିଷ୍ଟ ଆଲୋକ ପଡ଼େ—.18 ଭୋଲ୍‌ଟ ବିଭବାନ୍ତର ଦ୍ୱାରା ଇଲେକ୍‌ଟ୍ରନ୍ ଉତ୍ସର୍ଜନ ହୋଇପାରେ ନାହିଁ ଓ ସେକେଣ୍ଡକୁ 5.5×10^{12} ଆବୃତ୍ତି ବିଶିଷ୍ଟ ଆଲୋକ ପଡ଼ିଲେ—.17 ଭୋଲଟ ଦରକାର ହୁଏ, ତେବେ ପ୍ଲାଙ୍କ ଧ୍ରୁବାଙ୍କର ପରିମାଣ କେତେ ? (6.4×10^{-27})

9. ପୋଟାସିୟମ ଧାତବ ପୃଷ୍ଠରୁ 5890 Å ଏବଂ 2537 Å ତରଙ୍ଗ ଦୈର୍ଘ୍ୟ ବିଶିଷ୍ଟ ଆଲୋକ ଦ୍ୱାରା ଉତ୍ସର୍ଜିତ ହେଉଥିବା ଇଲେକ୍‌ଟ୍ରନ୍‌ର ଗତିଶକ୍ତି ଯଥାକ୍ରମେ $.36 \times 1.6$ ଅର୍ଗ ଓ 3.14 ଅର୍ଗ ହେଲେ—

(a) ପ୍ଲାଙ୍କ ଧ୍ରୁବାଙ୍କର ପରିମାଣ କେତେ ?

(b) ପୋଟାସିୟମର କାର୍ଯ୍ୟଫଳନ କେତେ ?

(c) ପୋଟାସିୟମ ପୃଷ୍ଠରୁ କେଉଁ ସର୍ବୋଚ୍ଚ ତରଙ୍ଗ ଦୈର୍ଘ୍ୟ ବିଶିଷ୍ଟ ଆଲୋକ ଦ୍ୱାରା ଇଲେକଟ୍ରନ୍ ଉତ୍ସର୍ଜିତ ହୋଇପାରେ ?
((a) 6.63×10^{-27} ଅର୍ଗ-ସେକେଣ୍ଡ, (b) 1.75 ଇ: ଭୋ: (c) 7100 Å.)

10. .10 Å ବିଶିଷ୍ଟ ରଞ୍ଜନ ରଶ୍ମିର ବସ୍ତୁତ୍ୱ ଓ ସଂବେଗର ପରିମାଣ କେତେ ?

11. ଏକ ସ୍ଥିର ଇଲେକଟ୍ରନ୍ ଦ୍ୱାରା .20 Å ତରଙ୍ଗ ଦୈର୍ଘ୍ୟ ବିଶିଷ୍ଟ ରଞ୍ଜନ ରଶ୍ମି ନିଜର ଗତି ପଥ ସହିତ 90° କୋଣ କରି ପ୍ରକୀର୍ଣ୍ଣ (Scattered) ହେଲା । ତେବେ ତରଙ୍ଗ ଦୈର୍ଘ୍ୟର କମ୍ପଟନ ବିସ୍ଥାପନର ପରିମାଣ କେତେ ଓ ପ୍ରକୀର୍ଣ୍ଣ ଫୋଟନର ତରଙ୍ଗ ଦୈର୍ଘ୍ୟ କେତେ ? (.024 Å,0.22 Å)

12. $250 \times 1.6 \times 10^{-9}$ ଅର୍ଗ ବିଶିଷ୍ଟ ଫୋଟନ ଏକ ଇଲେକଟ୍ରନ୍ ଦ୍ୱାରା ପ୍ରକୀର୍ଣ୍ଣ ହେଲା । ଯଦି ପ୍ରକୀର୍ଣ୍ଣ ଇଲେକଟ୍ରନ୍‌ର ଶକ୍ତି $200 \times 1.6 \times 10^{-9}$ ଅର୍ଗ ହୁଏ, ତେବେ ପ୍ରକୀର୍ଣ୍ଣ ଫୋଟନର ତରଙ୍ଗ ଦୈର୍ଘ୍ୟ କେତେ ? (.248 Å)

ଚତୁର୍ଥ ଅଧ୍ୟାୟ

ପରମାଣୁ ପଦାର୍ଥ ବିଜ୍ଞାନ

(Atomic Physics)

ବହୁ ପୂର୍ବକାଳରୁ ବୈଜ୍ଞାନିକମାନେ ପରମାଣବୀୟ ପ୍ରକଳ୍ପର (Atomic hypothesis) କଳ୍ପନା କରିଥିଲେ । ଏହା ଅତି ସରଳ ହେଲେ ମଧ୍ୟ ପ୍ରାୟ ଊନବିଂଶ ଶତାବ୍ଦୀର ଆରମ୍ଭ ପର୍ଯ୍ୟନ୍ତ ଏହାକୁ ସମ୍ପୂର୍ଣ୍ଣ ରୂପେ ଗ୍ରହଣ କରାଯାଇ ନ ଥିଲା । 1803 ମସିହାରେ ଡାଲଟନ୍ (Dalton) ନାମକ ଜଣେ ବୈଜ୍ଞାନିକ ପରମାଣୁ ତତ୍ତ୍ୱ ଉପରେ ଆଲୋଚନା କରିଥିଲେ । ଏହାର ୫ ବର୍ଷ ପରେ ଆଭୋଗାଡ୍ରୋ ଡାଲଟନ୍‌ଙ୍କ ପରମାଣୁ ତତ୍ତ୍ୱରେ ତ୍ରୁଟି ଦେଖାଇ ଏହାର ସଂଶୋଧନ କଲେ । ସେ ପ୍ରମାଣ କଲେ ଯେ କୌଣସି ବସ୍ତୁର କ୍ଷୁଦ୍ରତମ ବସ୍ତୁକଣା ପରମାଣୁ ନୁହେଁ ଅଣୁ । ଯେ କୌଣସି ଏକ ଯୌଗିକ (Compound) ପଦାର୍ଥ କେତେକ ନିର୍ଦ୍ଦିଷ୍ଟ ପରମାଣୁଗୁଡ଼ିକୁ ନେଇ ଗଠିତ ଓ ଯୌଗିକ ପଦାର୍ଥର ଯେ କୌଣସି ଅଣୁରେ ଭିନ୍ନ ଭିନ୍ନ ପରମାଣୁଗୁଡ଼ିକର ସଂଖ୍ୟା ମଧ୍ୟ ନିର୍ଦ୍ଦିଷ୍ଟ ।

ଯେତେବେଳେ ଦୁଇଟି ମୌଳିକ (Element) ଉପାଦାନର ସଂଯୋଗ ହୋଇ ଏକାଧିକ ଯୌଗିକ ପଦାର୍ଥ ସୃଷ୍ଟି ହୋଇଥାଏ ସେତେବେଳେ ମୌଳିକ ଉପାଦାନର ପରିମାଣ ପରସ୍ପର ସହିତ ପୂର୍ଣ୍ଣ ସଂଖ୍ୟାରେ ସମ୍ବନ୍ଧିତ (Related) ଅଟନ୍ତି । ପରମାଣବୀୟ ଚିନ୍ତାଧାରା ଉପରେ ପ୍ରତିଷ୍ଠିତ ଅଣୁଗତିତତ୍ତ୍ୱ (Kinetic theory) ଦ୍ୱାରା ବାୟୁ ଉପର ସଠିକ ଧାରଣା କରି ହୁଏ । ଏହି ତତ୍ତ୍ୱ ସାହାଯ୍ୟରେ ବାୟୁର ସାନ୍ଦ୍ରତା (Density) ବିସରଣ (diffusion) ଓ ଶ୍ୟାନତା (Viscosity) ର ଗୁଣାଙ୍କ ମଧ୍ୟରେ ସମ୍ବନ୍ଧ ବାହାର କରାଯାଇପାରେ । ଅଣୁ-ଗତିତତ୍ତ୍ୱରୁ ଜଣାଯାଏ ଯେ ଅଣୁମାନଙ୍କର ଗତି ଶକ୍ତି ଦ୍ୱାରା ତାପର ଉତ୍ପତ୍ତି ହୁଏ । ଏହିସବୁ କାରଣରୁ ପରମାଣବୀୟ ଚିନ୍ତାଧାରା ଠିକ୍ ବୋଲି ଧରି ନିଆଗଲା ।

ପ୍ରାୟ ଊନବିଂଶ ଶତାବ୍ଦୀର ଶେଷ ପର୍ଯ୍ୟନ୍ତ ଯେତେଗୁଡ଼ିଏ ପ୍ରାକୃତିକ ଘଟଣା ଉଦ୍‌ଭାବନ ହୋଇଥିଲା, ବୈଜ୍ଞାନିକମାନେ ସେଗୁଡ଼ିକର ତାତ୍ତ୍ୱିକ ବ୍ୟାଖ୍ୟା (Theoretical explanation) କରିବାକୁ ଆଂଶିକ ଭାବରେ କ୍ଷମ

ହୋଇଥିଲେ ଓ କେତେକ ବୈଜ୍ଞାନିକ ସବୁ ପ୍ରାକୃତିକ ଘଟଣା ଉଦ୍ଭାବନ ହୋଇଗଲା ବୋଲି ବିଶ୍ୱାସ କରିଥିଲେ । କିନ୍ତୁ 1895 ରୁ 1905 ମଧ୍ୟରେ କେତେକ ନୂଆ ପ୍ରାକୃତିକ ଘଟଣା ଉଦ୍ଭାବନ ହେଲା ଯେ ସେଗୁଡ଼ିକୁ ସୁସ୍ଥାପିତ ତତ୍ତ୍ୱ (classical theory) ଅନୁସାରେ ବୁଝାଇବା ସମ୍ଭବ ହେଲା ନାହିଁ । ସେଗୁଡ଼ିକ ବୁଝାଇବା ପାଇଁ ନୂତନ ତତ୍ତ୍ୱ ଓ ଚିନ୍ତାଧାରାର ଅବଶ୍ୟକତା ପଡ଼ିଲା । ସେହି ନୂତନ ପ୍ରାକୃତିକ ଘଟଣା ଓ ଚିନ୍ତାଧାରାଗୁଡ଼ିକ ହେଲା—

(a) ରଞ୍ଜନ ରଶ୍ମିର ଉଦ୍‌ଭାବନ ।

(b) ତେଜସ୍କ୍ରିୟ ପରମାଣୁର (Radio-active) ଉଦ୍‌ଭାବନ ।

(c) ଥମ୍ପସନ୍ (Thompson) ଙ୍କ ଦ୍ୱାରା ଇଲେକଟ୍ରନ୍ ଉଦ୍‌ଭାବନ ।

(d) ପ୍ଲାଙ୍କଙ୍କ କ୍ୱାଣ୍ଟମ ତତ୍ତ୍ୱ ।

(e) ମାଇକେଲ୍‌ସନ୍ ଓ ମରଲେଙ୍କ ପରୀକ୍ଷା ।

(f) ଆଇନ୍‌ଷ୍ଟାଇନ୍‌ଙ୍କ ଅପେକ୍ଷିକ ତତ୍ତ୍ୱ ।

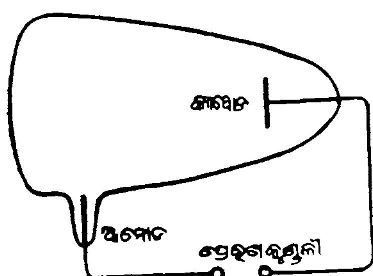
ଏହିସବୁ ନୂତନ ଘଟଣା ଓ ଚିନ୍ତାଧାରାକୁ ଆଧୁନିକ ପଦାର୍ଥ ବିଜ୍ଞାନ ଆଖ୍ୟା ଦିଆଗଲା ।

ନିଉଟନ୍‌ଙ୍କ ଆଲୋକର କଣିକାତତ୍ତ୍ୱ ଦ୍ୱାରା ଆଲୋକର ବ୍ୟତିକରଣ, ବିବର୍ତ୍ତନ, ପାର୍ଶ୍ୱୀକରଣ ଇତ୍ୟାଦି କେତେକ ପ୍ରକ୍ରିୟା ବୁଝାଇ ହେଲା ନାହିଁ । ତେଣୁ ବୈଜ୍ଞାନିକମାନେ ଆଲୋକର ତରଙ୍ଗତତ୍ତ୍ୱ ଠିକ୍ ବୋଲି ଧରି ନେଇଗଲେ । ଫାରାଡେଙ୍କର ବିଦ୍ୟୁତ ଅପଘଟନ (electro-lysis) ପରୀକ୍ଷାରୁ ଜଣାଗଲା ବିଦ୍ୟୁତ ମଧ୍ୟ ପରମାଣବୀୟ ଜାତୀୟ ଅଟେ । 1831 ମସିହାରେ ଫାରାଡେ (Faraday) ଏବଂ ହେନେରୀ (Henry) ବିଦ୍ୟୁତ ଚୁମ୍ବକୀୟ ପ୍ରେରଣ (electro-magnetic induction) ଉଦ୍‌ଭାବନ କଲେ । 1847 ରେ ଯୁଲ୍ (Joule) ତାପ ଶକ୍ତି ଓ ଯାନ୍ତ୍ରିକ ଶକ୍ତି ମଧ୍ୟରେ ସମ୍ପର୍କ ସ୍ଥାପନ କଲେ । ତାପରେ ମାକ୍ସୱେଲ ପ୍ରକାଶ କଲେ ଯେ ଏକ ଦୋଲାୟମାନ (oscillatory) ଶକ୍ତି ବିଦ୍ୟୁତ ଚୁମ୍ବକୀୟ ତରଙ୍ଗ ବିକିରଣ କରିପାରେ । 1887 ରେ ହର୍ଜ ଏହାକୁ ପରୀକ୍ଷା ଦ୍ୱାରା ପ୍ରମାଣ କଲେ ।

୧ । ରଞ୍ଜନ ରଶ୍ମିର ଉଦ୍‌ଭାବନ

1895 ଖ୍ରୀଷ୍ଟାବ୍ଦରେ ଅଧ୍ୟାପକ ରନ୍‌ଜେନ୍ ନିମ୍ନଚାପରେ ଥିବା ବିସର୍ଜନ ନଳ (discharge tube) ମଧ୍ୟରେ ବିଦ୍ୟୁତ ପରିବହନ (conduction of electricity)

ଉପରେ ଗବେଷଣା କରୁଥିଲେ । ସେ ବିସର୍ଜନ ନଳକୁ ଏକ କଳା କାଗଜ ଦ୍ୱାରା ଘୋଡ଼ାଇ ରଖିଥିଲେ । ସେ ବ୍ୟବହାର କରିଥିବା ଉପକରଣଟି ଚିତ୍ର (4.1) ରେ ଦିଆ ଯାଇଅଛି ।



ରଞ୍ଜନ ବିସର୍ଜନ ନଳ
ଚିତ୍ର (4.1)

ଗବେଷଣା କରୁଥିବା ସମୟରେ ସେ ଦେଖିଲେ ଯେ ପାଖରେ ରହିଥିବା ପ୍ରତିଦୀପ୍ତି (Fluorescent) ପରଦା ଆଲୋକିତ ହୋଇଗଲା । ସେ ଜାଣି ପାରିଲେ ତାଙ୍କ ଉପକରଣରୁ ଏକପ୍ରକାର ଅଦୃଶ୍ୟ ବିକିରଣ ଦ୍ୱାରା ପ୍ରତିଦୀପ୍ତି ପରଦାଟି ଆଲୋକିତ ହେଉଛି । ସେ ଏହି ଅଦୃଶ୍ୟ ବିକି-ରଣର ନାମ ଏକ୍ସ-ରେଜ୍ (X-Rays) ବୋଲି କହିଲେ । ଅନ୍ୟମାନେ ଏହି ବିକିରଣକୁ ତାଙ୍କର ନାମାନୁସାରେ 'ରଞ୍ଜନ ରଶ୍ମି' ବୋଲି ନାମକରଣ କଲେ । ଅଧ୍ୟାପକ ରନ୍ତଜେନ୍ ତାଙ୍କ ପର୍ଯ୍ୟ-ବେକ୍ଷଣରୁ (observation) ନିମ୍ନଲିଖିତ ସତ୍ୟ ପାଇ ପାରିଥିଲେ :—

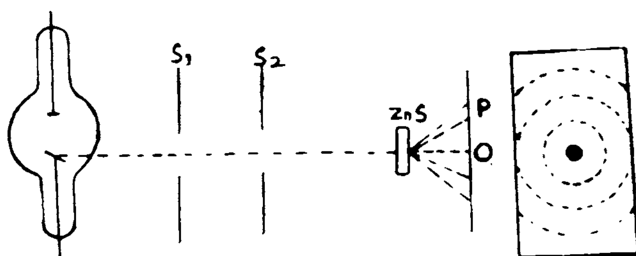
1. ରଞ୍ଜନ ରଶ୍ମି ଦ୍ୱାରା ଅଧିକାଂଶ ପଦାର୍ଥ ପ୍ରତିଦୀପ୍ତ ହୁଏ ।
2. ଫଟୋଗ୍ରାଫିକ୍ ପ୍ଲେଟ ରଞ୍ଜନ ରଶ୍ମି ଦ୍ୱାରା ପ୍ରଭାବିତ ହୁଏ ।
3. ବହି, ପାତଳ କାଠ ପରଦା ପ୍ରଭୃତି ପଦାର୍ଥ ରଞ୍ଜନ ରଶ୍ମି ପାଇଁ ଅତ୍ୟନ୍ତ ସ୍ୱଚ୍ଛ । ଆଲ୍‌ମୁନିୟମ ଜାତୀୟ ପଦାର୍ଥ ରଞ୍ଜନ ରଶ୍ମି ପାଇଁ ଆଂଶିକ ଭାବରେ ସ୍ୱଚ୍ଛ । କିନ୍ତୁ ସୀସା (lead) ଗୋଟିଏ ଅସ୍ୱଚ୍ଛ ପଦାର୍ଥ । ରଞ୍ଜନ ରଶ୍ମି ହାତ ହାଡ଼ ଓ କଠିନ ଧାତୁ ପ୍ରଭୃତି ଦେଇ ଯାଇପାରେ ନାହିଁ । ତେଣୁ ପ୍ରତିଦୀପ୍ତ ପରଦା ଉପରେ ଏହାର ଛାଇ ପଡ଼େ ।
4. ରଞ୍ଜନ ରଶ୍ମି ସରଳରେଖାରେ ଗତିକରେ ।
5. ରଞ୍ଜନ ରଶ୍ମି ଚୁମ୍ବକ କ୍ଷେତ୍ର ଦ୍ୱାରା ପ୍ରଭାବିତ ହୁଏ ନାହିଁ ।
6. ରଞ୍ଜନ ରଶ୍ମି ଚାର୍ଜିତ ପଦାର୍ଥଗୁଡ଼ିକୁ ବିସର୍ଜନ (discharge) କରିଦିଏ ।

7. କୌଣସି କଠିନ ପଦାର୍ଥ ଉପରେ କ୍ୟାଥୋଡ୍ ରଶ୍ମି ପଡ଼ିଲେ ରଞ୍ଜନ ରଶ୍ମି ନିର୍ଗତ ହୁଏ । ରନ୍ଟଜେନ୍ ପରୀକ୍ଷାରୁ ଜାଣିଲେ ଯେ ପ୍ଲାଟିନମ୍ ପ୍ରଭୃତି ଓଜନିଆ ମୌଳିକ ପଦାର୍ଥ ହାଲୁକା ପଦାର୍ଥ ତୁଳନାରେ ରଞ୍ଜନ ରଶ୍ମି ସୃଷ୍ଟି କରିବା ପାଇଁ ଅଧିକ ଉପଯୋଗୀ ଅଟେ ।

ସେ ରଞ୍ଜନ ରଶ୍ମି ସୃଷ୍ଟି କରିବା ପାଇଁ ଅବତଳ କ୍ୟାଥୋଡ (Concave Cathod) ଓ ପ୍ଲାଟିନମ୍ ଫଳକ ବ୍ୟବହାର କରିଥିଲେ । ପାଟିନମ୍ ଫଳକଟିକୁ କ୍ୟାଥୋଡ ରଶ୍ମିର ଗତି ପଥ ସହିତ 45° କୋଣ କରି ରଖା ଯାଇଥିଲା, ଯାହା ଫଳରେ ଅବତଳ କ୍ୟାଥୋଡ୍‌ରୁ ନିର୍ଗତ କ୍ୟାଥୋଡ ରଶ୍ମି ପ୍ଲାଟିନମ୍ ଫଳକ ଉପରେ ଏକ ଜାଗାରେ ଫୋକସ୍ ହେଉଥିଲା ।

୬ । ରଞ୍ଜନ ରଶ୍ମିର ବିବର୍ତ୍ତନ (Diffraction of X-Rays)

ରଞ୍ଜନ ରଶ୍ମିର ଉଦ୍ଭାବନ ପରେ ଏହା ଏକ ପ୍ରକାର ବିଦ୍ୟୁତ ଚୁମ୍ବକୀୟ ତରଙ୍ଗ ବୋଲି କଳ୍ପନା କରାଯାଇଥିଲା । କିନ୍ତୁ ବହୁଦିନ ପର୍ଯ୍ୟନ୍ତ ରଞ୍ଜନ ରଶ୍ମିର ବିବର୍ତ୍ତନ ଉପରେ କୌଣସି ପରୀକ୍ଷା ହୋଇ ପାରି ନ ଥିଲା । କାରଣ ଏହାର ତରଙ୍ଗ ଦୈର୍ଘ୍ୟ ଅତ୍ୟନ୍ତ କମ୍ ହୋଇଥିବାରୁ ସାଧାରଣ ଗ୍ରେଟିଙ୍ଗ୍ ରଞ୍ଜନ ରଶ୍ମିର ବିବର୍ତ୍ତନ ପାଇଁ ଅନୁପଯୁକ୍ତ । କ୍ରିଷ୍ଟାଲ ଭିତରେ ପରମାଣୁଗୁଡ଼ିକ ନିୟମିତ ଦୂରତାରେ ରହିଥାଏ ତେଣୁ କ୍ରିଷ୍ଟାଲଗୁଡ଼ିକ ରଞ୍ଜନ ରଶ୍ମିର ବିବର୍ତ୍ତନ



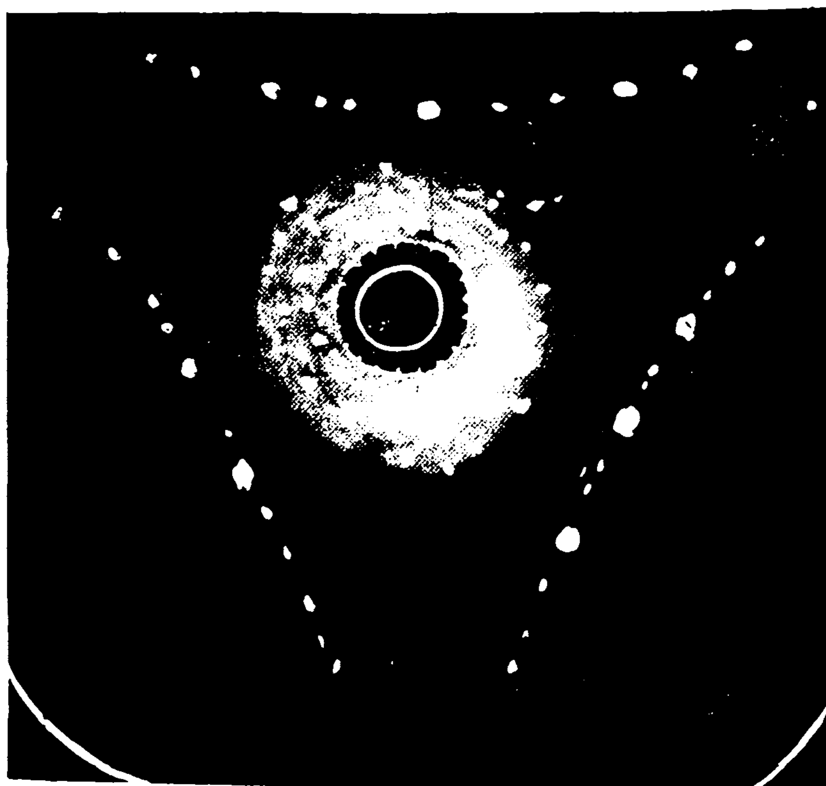
ରଞ୍ଜନ ରଶ୍ମିର ବିବର୍ତ୍ତନ ପାଇଁ ଉପକରଣ

ଚିତ୍ର (1.2)

ପାଇଁ ଗ୍ରେଟିଙ୍ଗ୍ ଭାବରେ ବ୍ୟବହାର କରାଯାଇ ପାରିବ ବୋଲି ଅନୁମାନ କରାଗଲା । ପ୍ରଥମେ ଭନ୍ ଲାଉ (Von Laue) ଫ୍ରିଡ୍ରିଚ୍ (Fried ich) ଏବ ନିପିଙ୍ଗ୍ (Knipping) ଜିଙ୍କ୍ ସଲଫାଇଡ୍ (Zinc sulphide) କ୍ରିଷ୍ଟାଲ୍ ବ୍ୟବହାର

କରି ରଞ୍ଜନ ରଶ୍ମିର ବିବର୍ତ୍ତନ ଚିତ୍ର ପାଇବାକୁ ସକ୍ଷମ ହୋଇଥିଲେ । ସେମାନେ ବ୍ୟବହାର କରିଥିବା ଉପକରଣଗୁଡ଼ିକ ଚିତ୍ର (4.2) ରେ ଦିଆ ଯାଇଅଛି ।

ବିବର୍ତ୍ତନ ଚିତ୍ରର ଫଟୋଗ୍ରାଫରୁ ସେମାନେ ଦେଖିଲେ ଯେ କେନ୍ଦ୍ର ବିନ୍ଦୁର ଚାରିପାଖେ ନିୟମିତ ଦୂରତାରେ କେତେଗୁଡ଼ିଏ କଳା ବିନ୍ଦୁ ଅଛି । ଏହି ଚିତ୍ର ଦ୍ୱାରା ପ୍ରଥମେ ପ୍ରମାଣ ହେଲା ଯେ ରଞ୍ଜନ ରଶ୍ମି ଏକ ପ୍ରକାର ତରଙ୍ଗ ଓ କ୍ରିଷ୍ଟାଲ ଭିତରେ ପରମାଣୁଗୁଡ଼ିକ ନିୟମିତ ଦୂରତାରେ ଥାଆନ୍ତି । ଚିତ୍ର (4.3) ରେ ରଞ୍ଜନ ରଶ୍ମି ବିବର୍ତ୍ତନର ଏକ ଆଧୁନିକ ଚିତ୍ର ଦିଆ ଯାଇଅଛି ।

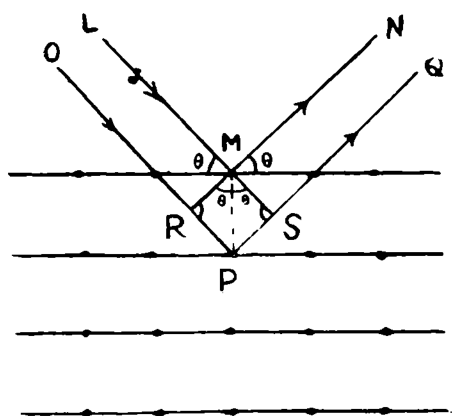


ରଞ୍ଜନ ରଶ୍ମିର ଏକ ଆଧୁନିକ
ବିବର୍ତ୍ତନ ଚିତ୍ର

ଚିତ୍ର (4.3)

୩ । କ୍ରିଷ୍ଟାଲ ଗ୍ରେଟିଙ୍ଗ୍ ତତ୍ତ୍ୱ—ବ୍ରାଗ୍‌ଙ୍କ ନିୟମ (Theory of Crystal grating and Bragg's Law)

କ୍ରିଷ୍ଟାଲ ଗ୍ରେଟିଙ୍ଗ୍ ସାଧାରଣ ଗ୍ରେଟିଙ୍ଗ୍‌ଠାରୁ ଭିନ୍ନ । ସାଧାରଣ ଗ୍ରେଟିଙ୍ଗ୍‌ର ଗ୍ରେଟିଙ୍ଗ୍ ଅନୁଘଟକ-(grating element) ଗୁଡ଼ିକ ଏକ ସମତଳରେ ଥାଏ ! କିନ୍ତୁ କ୍ରିଷ୍ଟାଲର ଭିନ୍ନ ଭିନ୍ନ ସମତଳରେ ଥିବା ପରମାଣୁଗୁଡ଼ିକ ଗ୍ରେଟିଙ୍ଗ୍ ଅନୁଘଟକ ଭାବରେ କାମ କରନ୍ତି । ଗୋଟିଏ କ୍ରିଷ୍ଟାଲର ପରମାଣୁଗୁଡ଼ିକ ଭିନ୍ନ ଭିନ୍ନ ସମତଳରେ ରହି ପାରନ୍ତି ଓ ଭିନ୍ନ ଭିନ୍ନ ସମତଳର ଗ୍ରେଟିଙ୍ଗ୍ ଅନୁଘଟକ ଭିନ୍ନ । ରଞ୍ଜନ ରଶ୍ମି କିରଣ ଗୁଚ୍ଛ କ୍ରିଷ୍ଟାଲ ଉପରେ ପଡ଼ିଲେ କ୍ରିଷ୍ଟାଲର ବିଭିନ୍ନ ସମତଳରେ ଥିବା ପରମାଣୁଗୁଡ଼ିକ ଦ୍ୱାରା ରଞ୍ଜନ ରଶ୍ମି ପ୍ରକୀର୍ଣ୍ଣ (Scattered) ହୁଏ । ପାର୍ଶ୍ୱ ଚିତ୍ରରେ λ ତରଙ୍ଗ ଦୈର୍ଘ୍ୟ ବିଶିଷ୍ଟ ଏକ ରଞ୍ଜନ ରଶ୍ମି ଗୁଚ୍ଛ ଏକ କ୍ରିଷ୍ଟାଲର AB ସମତଳ ପୃଷ୍ଠ ସହିତ $\theta°$ କୋଣ କରି ଆପତିତ (incident) ହୋଇଛି । ଯଦି ପ୍ରତିଫଳିତ ରଶ୍ମିଗୁଡ଼ିକ ସମକଳାରେ ରହିବେ, ତେବେ ଏକ ତୀବ୍ର (Intense) ପ୍ରତିଫଳିତ କିରଣ ଗୁଚ୍ଛ ମିଳିବ ଓ ଏହି କିରଣ ଗୁଚ୍ଛ ସମତଳ ସହିତ $\theta°$ କୋଣ କରିବ । ଚିତ୍ରରେ LMN ଓ OPQ ଦୁଇଟି ରଶ୍ମି ଦୁଇଟି ନିକଟବର୍ତ୍ତୀ ସମତଳରେ ଥିବା ଦୁଇଟି ପରମାଣୁ ଦ୍ୱାରା ପ୍ରତିଫଳିତ ହେଉଛି । ମନେକର P ଠିକ୍ M ର ତଳେ ଅଛି, ଯଦି MR ଏବଂ MS, M ଠାରୁ PO ଓ PQ ଉପରକୁ ଟଣା ଯାଇଥିବା ଲମ୍ବ ହୁଏ, ତେବେ ଦୁଇଟି ରଶ୍ମିର ପଥାନ୍ତର ହେଲା RP+PS । ବ୍ୟତିକରଣ ନିୟମ ଅନୁସାରେ ଯଦି $RP+PS=n\lambda$ ହୁଏ, ତେବେ ପ୍ରତିଫଳିତ ରଶ୍ମି ତୀବ୍ର ହେବ । ପାର୍ଶ୍ୱ ଚିତ୍ରରୁ ମିଳେ $RP=PS=\overline{MP}\sin\theta=d\sin\theta$, ଯଦି ଦୁଇ ସମତଳରେ ଦୂରତା d ହୁଏ । ତେବେ $2d\sin\theta=n\lambda$ (4.1)



ଚିତ୍ର (4.4)

ଏହି ସମୀକରଣକୁ ବ୍ରାଗ୍‌ଙ୍କ ନିୟମ କହନ୍ତି ।

ରଞ୍ଜନ ରଶ୍ମିର ବିବର୍ତ୍ତନ ଦ୍ୱାରା କ୍ରିଷ୍ଟାଲ ଭିତରେ ପରମାଣୁଗୁଡ଼ିକର ଅବସ୍ଥିତି ଜାଣି ରଞ୍ଜନ ରଶ୍ମିର ତରଙ୍ଗ ଦୈର୍ଘ୍ୟ, ପରମାଣୁର ଓଜନ, କ୍ରିଷ୍ଟାଲର ସାନ୍ଦ୍ରତା ଓ ଅଭୋଗାଡ୍ରୋ ସଂଖ୍ୟା ଜାଣି ହୁଏ ।

ଉଦାହରଣ—

ସୋଡ଼ିୟମ କ୍ଲୋରାଇଡର ପରମାଣୁଗୁଡ଼ିକ ସମାନ ଦୂରରେ ଥିଲେ ଦୁଇ ପରମାଣୁ ମଧ୍ୟରେ ଥିବା ଦୂରତା କେତେ ?

ମନେକର d=ଦୁଇ ପରମାଣୁ ମଧ୍ୟରେ ଦୂରତା

ତେବେ d^3 ଆୟତନ ମଧ୍ୟରେ ଦୁଇଟି ପରମାଣୁ ରହିବ । ଆମେ ଜାଣୁ 58.45 ଗ୍ରାମ୍ ଓଜନର ସୋଡ଼ିୟମ କ୍ଲୋରାଇଡ୍ ଭିତରେ $2\times N$ ଟି ପରମାଣୁ ଥାଏ, ତେବେ

$$d^3\times 2N=\frac{58.45}{\rho}$$

ଯେଉଁଠାରେ ρ =ସୋଡ଼ିୟମ କ୍ଲୋରାଇଡ୍ର ସାନ୍ଦ୍ରତା

$N=6.0247\times 10^{23}$ = ଅଭୋଗାଡ୍ରୋ ସଂଖ୍ୟା

ତେଣୁ $d=\left(\frac{58.45}{2\rho N}\right)^{\frac{1}{3}}=2.814\times 10^{-8}$ ସେ:ମି:

ଉଦାହରଣ—

ଏକ ରଞ୍ଜନ ରଶ୍ମି କିରଣ ଗୁଚ୍ଛ ସୋଡ଼ିୟମ କ୍ଲୋରାଇଡ୍ କ୍ରିଷ୍ଟାଲ ଦ୍ୱାରା ବିବର୍ତ୍ତିତ ହେଲା । ଯଦି ପ୍ରଥମ ପ୍ରକାର ବିବର୍ତ୍ତନ କୋଣ (First order angle of diffraction) 10° ହୁଏ, ତେବେ ରଞ୍ଜନ ରଶ୍ମିର ତରଙ୍ଗ ଦୈର୍ଘ୍ୟ କେତେ ?

ପୂର୍ବ ଉଦାହରଣରୁ ଆମେ ଜାଣୁ $d=2.81$ Å

ତେଣୁ $\lambda=2(2.81\text{ Å})\sin 10^\circ=2\times 2.81\times 0.1736\text{Å}=.976\text{ Å}$

୪ । ଉଦ୍‌ଜାନ ବର୍ଣ୍ଣାଳୀ

ନିମ୍ନଚାପରେ ଥିବା କୌଣସି ଗ୍ୟାସ ଭିତର ଦେଇ ବିଦ୍ୟୁତ ବିସର୍ଜନ (Electric discharge) କରାଗଲେ ସେହି ଗ୍ୟାସର ବର୍ଣ୍ଣାଳୀ ମିଳେ । ଯେ କୌଣସି ମୌଳିକ ଉପାଦାନର ବର୍ଣ୍ଣାଳୀରେ ଥିବା ଆଲୋକ ରେଖାଗୁଡ଼ିକର ତରଙ୍ଗ ଦୈର୍ଘ୍ୟ ସବୁବେଳେ ସମାନ ।

1885 ମସିହା ସୁଦ୍ଧା ଉଦ୍‌ଜାନ ବର୍ଣ୍ଣାଳୀର 4 ଟି ଅଲୋକ ରେଖା ଉଦ୍‌ଭାବନ କରା ଯାଇଥିଲା । ଏହି ରେଖାଗୁଡ଼ିକ H_α, H_β, H_γ and H_δ ନାମରେ ନାମିତ ହୋଇଥିଲା । 1885 ରେ ବାମାର୍ (Balmer) ଗୋଟିଏ ସୂତ୍ର ପ୍ରକାଶ କରିଥିଲେ ଯାହା ଦ୍ୱାରା କି ଏହି ରେଖାଗୁଡ଼ିକର ତରଙ୍ଗ ଦୈର୍ଘ୍ୟ ହିସାବ କରି ବାହାର କରାଯାଇ ପାରିଲା ଓ ପରୀକ୍ଷାରୁ ମିଳିଥିବା ତରଙ୍ଗ ଦୈର୍ଘ୍ୟର ପରିମାଣ ସହିତ ସମାନ ହେଲା । ତାଙ୍କ ଅନୁଭାବିକ (emperical) ସୂତ୍ରଟି ହେଲା :—

$$\lambda = 3645.6 \frac{n^2}{n^2-4} \text{Å} \qquad (4.2)$$

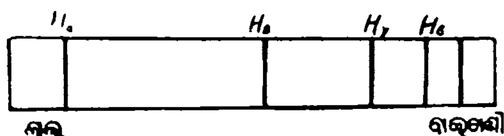
ଯେଉଁଠାରେ $n=3, 4, 5$ ....

ଉକ୍ତ ସୂତ୍ରକୁ ରିଡବର୍ଗ (Rydberg) ଭିନ୍ନ ଆକାରରେ ପ୍ରକାଶ କରିଥିଲେ

$$\frac{1}{\lambda} = R\left(\frac{1}{2^2} - \frac{1}{n^2}\right) \qquad (4.3)$$

ଯେଉଁଠାରେ $n=3, 4, 5$ ....

ଏବଂ $R = 109700$ ସେ:ମି:$^{-1}$

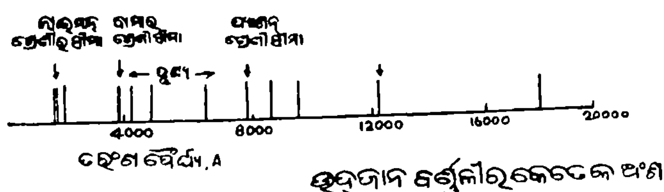


ଉଦ୍‌ଜାନ ବାମାର ଶ୍ରେଣୀ ରେଖା ଗୁଡ଼ିକ.

ଚିତ୍ର (4.5)

(4.3) ନମ୍ବର ସମୀକରଣରେ $\left(\frac{1}{2^2}\right)$ ଜାଗାରେ $\left(\frac{1}{1^2}\right)$ ଲେଖିଦେଲେ ଅନ୍ୟ ଏକ ଶ୍ରେଣୀର ଅଲୋକ ରେଖା ମିଳେ । ଏହି ଶ୍ରେଣୀର ରେଖାଗୁଡ଼ିକର ତରଙ୍ଗ ଦୈର୍ଘ୍ୟ ଅତି ବାଇଗଣି (Ultraviolet) ଅଲୋକର ଅନ୍ତର୍ଭୁକ୍ତ । ଏହି ଶ୍ରେଣୀର ରେଖାଗୁଡ଼ିକୁ ଲାଇମାନ (Lyman) ଶ୍ରେଣୀ କୁହାଯାଏ । ସେହିପରି $\left(\frac{1}{2^2}\right)$ ଜାଗାରେ $\left(\frac{1}{3^2}\right)$ ଲେଖିଦେଲେ ଅନ୍ୟ ଏକ ଶ୍ରେଣୀର ଅଲୋକ ରେଖା ମିଳେ । ସେଗୁଡ଼ିକ ଅବଲୋହିତ (Infrared) ଅଲୋକ ରଶ୍ମିର

ଅନ୍ତର୍ଭୁକ୍ତ ଓ ସେହି ଶ୍ରେଣୀର ଆଲୋକ ରେଖାଗୁଡ଼ିକୁ ପାଶନ୍ ଶ୍ରେଣୀ (Paschen



ଚିତ୍ର (4.6)

Series) କୁହାଯାଏ । 1913 ମସିହାରେ ନିଲସ୍‌ବୋର୍ (Niels Bohr) ଏହାର ତାତ୍ତ୍ୱିକ ବ୍ୟାଖ୍ୟା କରିବାକୁ ସମର୍ଥ ହୋଇଥିଲେ ।

୫ । ପରମାଣୁର ଗଠନ

ପରମାଣୁର ଗଠନ ସମ୍ବନ୍ଧରେ 1815 ରେ ପ୍ରାଉଟ୍ (Prout) ପ୍ରକାଶ କଲେ ଯେ ପ୍ରତ୍ୟେକ ମୌଳିକ ପରମାଣୁ କେତେଗୁଡ଼ିଏ ଉଦ୍‌ଜାନ ପରମାଣୁକୁ ନେଇ ଗଠିତ । କିନ୍ତୁ ପରୀକ୍ଷାରୁ ଜଣାଗଲା ଯେ ସବୁ ପରମାଣୁର ଓଜନ ଉଦ୍‌ଜାନ ପରମାଣୁ ଓଜନର ସମ୍ପୂର୍ଣ୍ଣ ଗୁଣିତକ (Exact Multiple) ନୁହେଁ । ତେଣୁ ପ୍ରାଉଟ୍‌ଙ୍କ ତତ୍ତ୍ୱ ଗ୍ରହଣ ଯୋଗ୍ୟ ହେଲା ନାହିଁ ।

ତେଜସ୍କ୍ରିୟ ପରମାଣୁର ଉଦ୍‌ଭାବନ ପରେ ଜଣାଗଲା ଯେ ପ୍ରତ୍ୟେକ ପର-ମାଣୁ ଅଭ୍ୟନ୍ତରରେ ସମାନ ପରିମାଣର ଧନାତ୍ମକ ଚାର୍ଜ (Positive charge) ଓ ଋଣାତ୍ମକ ଚାର୍ଜ ରହିଅଛି । ଏହାପରେ ଜେ. ଜେ. ଥମ୍ପସନ (J. J. Thompson) ପ୍ରକାଶ କଲେ ଯେ ପରମାଣୁର ଆକାର ଗୋଲ ଓ ଏହା ଭିତରେ ଧନାତ୍ମକ ଚାର୍ଜ ପୂରି ରହିଥାଏ ଓ ଋଣାତ୍ମକ ଚାର୍ଜ ଏକ ନିର୍ଦ୍ଦିଷ୍ଟ ଜାଗାରେ ଏପରି ଭାବରେ ଥାଏ ଯେ ପରମାଣୁଟି ସ୍ଥାୟୀ ଓ ଚାର୍ଜ ଶୂନ୍ୟ (Neutral) ହୋଇଥାଏ । କିନ୍ତୁ ୧୯୧୧ ରେ ରଦରଫୋର୍ଡ୍ (Rutherford) α ରଶ୍ମିର ପ୍ରକୀର୍ତ୍ତନ (Scattering) ଉପରେ ଗବେଷଣା କରୁ କରୁ ପରମାଣୁର ଗଠନ ସମ୍ବନ୍ଧରେ ନୂତନ ସତ୍ୟ ପାଇଲେ । ତାଙ୍କ ପରୀକ୍ଷାଟି ହେଲା, ସେ ଏକ ପାତଳ ସୁନା ଫଲକ ଉପରେ ଏକ ପାର୍ଶ୍ୱରୁ α ରଶ୍ମି ନିକ୍ଷେପ କରାଇ ଅନ୍ୟ ପାର୍ଶ୍ୱରେ ପ୍ରକୀର୍ଣ୍ଣ α ରଶ୍ମିର ଗତି ଏକ ପ୍ରତିଦୀପ୍ତି (Fluorescence) ପରଦା ଦ୍ୱାରା ଅନୁସନ୍ଧାନ କରୁଥିଲେ । ସେ ଦେଖିଲେ ଯେ ଅଧିକାଂଶ α ରଶ୍ମିର ଗତି ପଥର ସାମାନ୍ୟ ପରିବର୍ତ୍ତନ ହେଉଛି । କିନ୍ତୁ ଅଳ୍ପ କେତୋଟିର ଗତି ପଥର ପରିବର୍ତ୍ତନ 90° ଠାରୁ ବି ବେଶୀ ହେଉଛି ।

ଏହି ପରୀକ୍ଷା ଲବ୍ଧ ତଥ୍ୟ ଥମ୍ପସନ୍‌ଙ୍କ ପରମାଣୁ ଗଠନର ନମୁନା (Model) ଦ୍ୱାରା ବୁଝାଯାଇ ପାରିଲା ନାହିଁ । ତେଣୁ ସେ ପରମାଣୁ ଗଠନର ନୂତନ ନମୁନା ପ୍ରକାଶ କଲେ । ତାଙ୍କ ନମୁନା ଅନୁସାରେ ପରମାଣୁର କେନ୍ଦ୍ରରେ ଧନାତ୍ମକ ଚାର୍ଜ ଯୁକ୍ତ ଏକ ଅତି କ୍ଷୁଦ୍ର କଣିକା ରହିଛି, ଯାହା ନିଉକ୍ଲିୟସ ନାମରେ ପରିଚିତ । ଏହି ନିଉକ୍ଲିୟସର ଚାରିପାଖେ ଋଣାତ୍ମକ ଚାର୍ଜ ଏପରି ଭାବରେ ଘେରି ରହିଥାଏ ଯେ ଋଣାତ୍ମକ ଓ ଧନାତ୍ମକ ଚାର୍ଜ ମଧ୍ୟରେ ଯଥେଷ୍ଟ ଶୂନ୍ୟସ୍ଥାନ ଥାଏ । ଯାହା ଭିତର ଦେଇ ∝ ରଶ୍ମି ଅତି ସହଜରେ ସୁନା ଫଳକକୁ ଅତିକ୍ରମ କରିଯାଏ ।

୭ । ବୋରଙ୍କ ପରମାଣୁ ଗଠନର ନମୁନା (Bohr's Atom model)

1913 ମସିହାରେ ନିଲ୍ସବୋର (Niels Bohr) ରଦରଫୋର୍ଡଙ୍କ ପରମାଣୁ ଗଠନର ନମୁନାକୁ ବ୍ୟବହାର କରି ଉଦ୍‌ଜାନ ବର୍ଣ୍ଣାଳୀର ତାତ୍ତ୍ୱିକ ବ୍ୟାଖ୍ୟା କରି ପାରିଲେ । ସେ ଏହି ତତ୍ତ୍ୱ ପ୍ରକାଶ କରିବା ପାଇଁ କେତୋଟି ସ୍ୱୀକାରକୁ ମାନି ନେଇଥିଲେ । ସେଗୁଡ଼ିକ ହେଲା (1) ଋଣାତ୍ମକ ଇଲେକଟ୍ରନ୍ କୁଲମ୍ବ (Coulomb) ବଳ (Force) ଦ୍ୱାରା ଆକର୍ଷିତ ହୋଇ ନିଉକ୍ଲିୟସ ଚାରିପାଖେ ନିର୍ଦ୍ଦିଷ୍ଟ ବୃତ୍ତାକାର କକ୍ଷରେ ଅବିରାମ ଗତିରେ ବୁଲୁଥାଏ । (2) ନିର୍ଦ୍ଦିଷ୍ଟ କକ୍ଷ-ଗୁଡ଼ିକ ଏପରି ଯେ ଇଲେକଟ୍ରନର କୌଣିକ ସଂବେଗ (angular momentum) ସବୁବେଳେ $h/2\pi$ ର ଏକ ସଂପୂର୍ଣ୍ଣ ଗୁଣକ ହୁଏ । (3) ଇଲେକଟ୍ରନ୍ ଗୋଟିଏ ନିର୍ଦ୍ଦିଷ୍ଟ କକ୍ଷରେ ବୁଲୁଥିବା ସମୟରେ ଆଲୋକ ବିକିରଣ ହୁଏ ନାହିଁ । ଇଲେକଟ୍ରନ୍ ତଳ କକ୍ଷରୁ ଉପରକୁ ଗଲେ ଶକ୍ତି ଅବଶୋଷଣ (absorb) କରେ । ଉପର କକ୍ଷରୁ ତଳ କକ୍ଷକୁ ଆସିଲେ ଶକ୍ତି ଆଲୋକ ଆକାରରେ ବିକିରଣ କରେ ଓ ଇଲେକଟ୍ରନ୍ ତଳ ଏକ ନିର୍ଦ୍ଦିଷ୍ଟ କକ୍ଷରୁ ଉପର ଏକ ନିର୍ଦ୍ଦିଷ୍ଟ କକ୍ଷକୁ ଗଲେ ଯେତିକି ଶକ୍ତି ଅବଶୋଷଣ କରିଥାଏ, ସେହି ଉପର କକ୍ଷରୁ ତଳ କକ୍ଷକୁ ଆସିଲେ ଠିକ୍ ସେତିକି ପରିମାଣର ଶକ୍ତି ଆଲୋକ ଆକାରରେ ବିକିରଣ କରେ ସେହି ଶକ୍ତିର ପରିମାଣ

$$h\nu = W_2 - W_1 \quad (4.4)$$

ଯେଉଁଠାରେ h=ପ୍ଲାଙ୍କଙ୍କ ଧ୍ରୁବାଙ୍କ ।

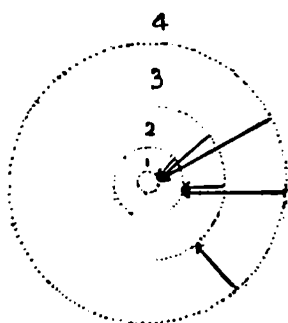
ν=ବିଚ୍ଛୁରିତ ଆଲୋକର ଆବୃତ୍ତି ।

W_2=ଇଲେକଟ୍ରନ୍ ଉପର କକ୍ଷରେ ଥିବାବେଳେ ପରମାଣୁର ଶକ୍ତି ।

W_1=ଇଲେକଟ୍ରନ୍ ତଳ କକ୍ଷରେ ଥିବାବେଳେ ପରମାଣୁର ଶକ୍ତି ।

ଏହି ସବୁ ସ୍ୱୀକାରକୁ ମାନି ନେଇ ଉଦ୍‌ଜାନ ପରମାଣୁରୁ କିପରି ଆଲୋକ ବିଚ୍ଛୁରିତ ହେଉଛି ତାହାର ଆଲୋଚନା କରିବା ।

ଉଦ୍‌ଜାନର ଇଲେକଟ୍ରନ୍‌ଟି ସବୁବେଳେ ନିଉକ୍ଲିୟସ୍ ନିକଟବର୍ତ୍ତୀ ପ୍ରଥମ କକ୍ଷରେ ବୁଲୁଥାଏ । ଏହା ବାହ୍ୟ ଶକ୍ତି ଗ୍ରହଣ କଲେ ଏହାର ଇଲେକଟ୍ରନ୍‌ଟି ନିଉକ୍ଲିୟସଠାରୁ ଦୂରରେ ରହି ୨ୟ କକ୍ଷରେ ବୁଲେ । ଅଧିକ ବାହ୍ୟ ଶକ୍ତି ଗ୍ରହଣ କଲେ ୩ୟ କକ୍ଷରେ ରହି ବୁଲେ ଓ ବାହ୍ୟଶକ୍ତି ପରିମାଣ ଅନୁସାରେ ବିଭିନ୍ନ କକ୍ଷରେ ରହି ବୁଲେ । ଯେତେବେଳେ ଇଲେକଟ୍ରନ୍ ନିଉକ୍ଲିୟସର ଦୂରବର୍ତ୍ତୀ କକ୍ଷରୁ ନିକଟବର୍ତ୍ତୀ କକ୍ଷକୁ ଫେରିଆସେ ତାହା ଆଲୋକ ରଶ୍ମି ବିକିରଣ କରେ । ଏହି ବିଚ୍ଛୁରିତ ଶକ୍ତିର ପରିମାଣ ଇଲେକଟ୍ରନ୍‌ର ପ୍ରଥମ ଓ ଶେଷ କକ୍ଷ ଉପରେ ନିର୍ଭର କରେ । (ଚିତ୍ର (4.7) ଦେଖ)



ଉଦ୍‌ଜାନର କେତେକ କକ୍ଷ

ଚିତ୍ର (4.7)

ପ୍ରଥମ ଓ ଦ୍ୱିତୀୟ ସ୍ୱୀକାରରୁ ପାଉଁ

$$\frac{mv^2}{r}=\frac{ze^2}{(4\pi\epsilon_0)r^2} \tag{4.5}$$

ଏବଂ $$mvr=\frac{nh}{2\pi}$$

ଯେଉଁଠାରେ m=ଇଲେକଟ୍ରନ୍‌ର ବସ୍ତୁତ୍ୱ

v=ଇଲେକଟ୍ରନ୍‌ର ବେଗ

r=କକ୍ଷର ବ୍ୟାସାର୍ଦ୍ଧ

z=ନିଉକ୍ଲିୟସର ଚାର୍ଜ, ଉଦ୍‌ଜାନ ପାଇଁ $z=1$

ϵ_0=ଶୂନ୍ୟତାରେ ଡାଇଇଲେକଟ୍ରିକ୍ ଧ୍ରୁବାଙ୍କ (Dielectric Constant)

$n=1, 2, 3$

କିମ୍ବା $v=\frac{nh}{2\pi mr}$ (4.6)

ଯଦି T ଇଲେକଟ୍ରନ୍‌ର ଗତି ଶକ୍ତି ହୁଏ, ତେବେ ସମୀକରଣ (4.5) ରୁ ଆମେ ପାଉଁ

$$T=\tfrac{1}{2}mv^2=\frac{ze^2}{(4\pi\epsilon_0)2r} \quad (4.7)$$

ସମୀକରଣ (4.6) ଓ (4.7) ରୁ ମିଳେ

$$r=\frac{n^2h^2(4\pi\epsilon_0)}{4\pi^2mze^2}$$

ସ୍ଥିତିଜ ଶକ୍ତିର (Potential Energy) ପରିମାଣ ହେଲା

$$-\frac{ze^2}{(4\pi\epsilon_0)r} \quad (4.8)$$

ପରମାଣୁର ସମୁଦାୟ ଶକ୍ତି

$$w=\text{ଗତି ଶକ୍ତି}+\text{ସ୍ଥିତିଜ ଶକ୍ତି}$$

$$=\frac{ze^2}{(4\pi\epsilon_0)2r}+\left[-\frac{ze^2}{(4\pi\epsilon_0)r}\right]$$

$$=-\frac{2\pi^2mz^2e^4}{(4\pi\epsilon_0)^2h^2n^2} \quad (4.9)$$

ତୃତୀୟ ସ୍ୱୀକାରରୁ ଆମେ ପାଉଁ

$$hv=(w_2-w_1)$$

କିମ୍ବା $v=\frac{2\pi^2mz^2e^4}{(4\pi\epsilon_0)^2h^3}\left(\frac{1}{n_f^2}-\frac{1}{n_i^2}\right)$

$$=CR\left(\frac{1}{n_f^2}-\frac{1}{n_i^2}\right) \quad (4.10)$$

ବାମାର୍ (Balmer) ଶ୍ରେଣୀର ଆଲୋକ ରେଖାଗୁଡ଼ିକ ପାଇଁ

$$\frac{1}{\lambda}=\frac{v}{c}=R\left(\frac{1}{2^2}-\frac{1}{n_i^2}\right)n_i=3,\ 4 \quad (4.11)$$

ଓ ଲାଇମାନ (Liyman) ଶ୍ରେଣୀର ଆଲୋକ ରେଖାଗୁଡ଼ିକ ପାଇଁ

$$\frac{1}{\lambda}=\frac{v}{c}=R\left(\frac{1}{1^2}-\frac{1}{n_i^2}\right)n_i=2,\ 3 \quad (4.12)$$

ସମୀକରଣ (4.11) ଓ (4.12) ବାମାରଙ୍କର ଅନୁଭବିକ (empirical) ସୂତ୍ର ସହ ମିଳିଗଲା ଏବଂ ପରମାଣବୀୟ ଧ୍ରୁବାଙ୍କଗୁଡ଼ିକ ନେଇ ବାହାର କରାଯାଇଥିବା ରିଡ୍‌ବର୍ଗ ଧ୍ରୁବାଙ୍କର ପରିମାଣ ଅନୁଭବିକ ପରିମାଣ ସହିତ ସମ୍ପୂର୍ଣ୍ଣ ରୂପେ ମିଳିଗଲା । ହିସାବରୁ ମିଳୁଥିବା କୌଣସି ଶ୍ରେଣୀର ଆଲୋକ ରେଖାଗୁଡ଼ିକର ତରଙ୍ଗ ଦୈର୍ଘ୍ୟ ପରୀକ୍ଷାରୁ ମିଳୁଥିବା ତରଙ୍ଗ ଦୈର୍ଘ୍ୟ ସଙ୍ଗେ ମିଳିଗଲା । ଏହିଥିରୁ ପ୍ରମାଣ ମିଳିଲା ଯେ ବୋର୍ (Bohr) ଙ୍କ ପରମାଣୁ ଗଠନର ନମୁନା ତ୍ରୁଟି ଶୂନ୍ୟ ଅଟେ ।

ଉଦାହରଣ—

ଉଦ୍‌ଜାନର ପ୍ରଥମ କକ୍ଷର ବ୍ୟାସାର୍ଦ୍ଧର ପରିମାଣ ଓ ପ୍ରଥମ କକ୍ଷରେ ବୁଲୁଥିବାବେଳେ ଇଲେକଟ୍ରନ୍‌ର ବେଗ ନିର୍ଣ୍ଣୟ କର ।

ସମୀକରଣ (4.5) ରୁ ପାଉଁ

$$r=n^2 \frac{h^2(4\pi\epsilon_0)}{4\pi^2 me^2}$$

$$=(1)^2 \frac{(6.63\times10^{-34} \text{ ଯୁଲ୍ ସେକେଣ୍ଡ})^2}{4\pi^2\times9.108\times10^{-31} \text{ କି:ଗ୍ରା:} \ (1.6\times10^{-19} \text{ କୁଲମ୍ବ})^2}\times$$

$$\frac{(\text{କୁଲମ୍ବ})^2}{8.99\times10^9 \text{ ନିଉଟନ} \ (\text{ମିଟର})^2}$$

$$=0.53\times10^{-10} \text{ ମିଟର}$$

ଏବଂ $v=\frac{1}{n} \frac{2\pi e^2}{h(4\pi\epsilon_0)}=\frac{2\pi(1.6\times10^{-19} \text{ କୁଲମ୍ବ})^2}{1\times6.63\times10^{-34} \text{ ଯୁଲ୍ ସେକେଣ୍ଡ}}$

$\times8.99\times10^9$ ନିଉଟନ (ମିଟର)^2/(କୁଲମ୍ବ)^2

$=2.2\times10^6$ ମିଟର/ସେକେଣ୍ଡ

ଏଠାରେ $\frac{v}{c}=0.00073$ ହୋଇଥିବାରୁ ଇଲେକଟ୍ରନ୍‌ର ବସ୍ତୁତ୍ୱ

ବୃଦ୍ଧିର ପରିମାଣ $=\frac{m_0}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}}-m_0$

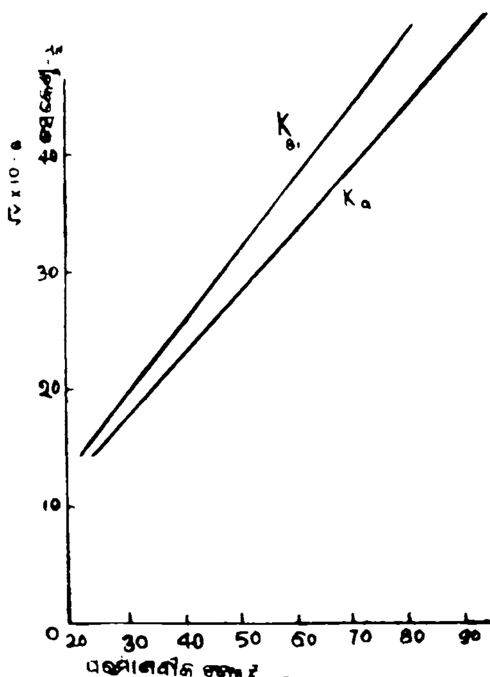
$=\cdot000027 \ m_0$

ବୋରଙ୍କ ଏହି ମୂଳ ତତ୍ତ୍ୱକୁ ସାମାନ୍ୟ ପରିବର୍ତ୍ତନ କରାଯାଇ ଅନ୍ୟ ପରମାଣୁର ବର୍ଣ୍ଣାଳୀଗୁଡ଼ିକ ବୁଝା ଯାଇ ପାରିଲା ।

୭ । ରଞ୍ଜନ ରଶ୍ମିର ଅଭିଲାକ୍ଷଣିକ ବିକିରଣ (**Characteristic radition of X-Rays**)

ପରୀକ୍ଷାରୁ ଜଣାଗଲା ରଞ୍ଜନ ରଶ୍ମି ବର୍ଣ୍ଣାଳୀରେ ଅବିଚ୍ଛିନ୍ନ ବିକିରଣ ସହିତ କେତେକ ଅଭିଲକ୍ଷଣିକ ବିକିରଣ (Characteristic radiation) ଥାଏ । ଏହା ପ୍ରଥମେ ବାର୍କ୍ଲା (Barkla) ଉଦ୍ଭାବନ କରିଥିଲେ ଓ ଏହାକୁ K, L ବିକିରଣ ବୋଲି ନାମିତ କରିଥିଲେ । 1913 ମସିହାରେ ମୋସ୍ଲେ (Mosely) ବିଭିନ୍ନ ମୌଳିକ ପଦାର୍ଥରୁ ବାହାରୁଥିବା K ବିକିରଣ ଉପରେ ଅନୁସନ୍ଧାନ କରି ପ୍ରକାଶ କଲେ ଯେ :—

(1) କୌଣସି ମୌଳିକ ପଦାର୍ଥରୁ ବାହାରୁଥିବା ରଞ୍ଜନ ରଶ୍ମି ଆବୃତ୍ତିର ବର୍ଗମୂଳ ପରମାଣବୀୟ ସଂଖ୍ୟା ସହିତ ଅନୁପାତିକ । (2) ରଞ୍ଜନ ରଶ୍ମି K ବିକିରଣ K_α ଏବଂ K_β ନାମକ ଦୁଇଟି ବିକିରଣକୁ ନେଇ ଗଠିତ ।



ମୋସଲିଙ୍କ ଚିତ୍ର

ଚିତ୍ର (4.8)

K_α ବିକିରଣ ପାଇଁ ଗୋଟିଏ ସରଳରେଖା ଓ K_β ବିକିରଣ ପାଇଁ ଅନ୍ୟ ଗୋଟିଏ ସରଳରେଖା ପାଇଲେ । (ଚିତ୍ର (4.8) ଦେଖ) ଏବଂ ସୂଚାଇଲେ ଯେ

$$\nu = K (z-a)^2 \qquad (13)$$

ଯେଉଁଠାରେ ν=ରଞ୍ଜନ ରଶ୍ମିର ଆବୃତ୍ତି

a ଏବଂ k=ଏକ ଧ୍ରୁବାଙ୍କ z=ପରମାଣବୀୟ ସଂଖ୍ୟା

ଏଥି ପୂର୍ବରୁ ପିରିୟଡ଼ିକ୍ (Periodic Table) ରେ ପରମାଣୁଗୁଡ଼ିକ ପରମାଣବୀୟ ବସ୍ତୁତ୍ୱ କ୍ରମରେ ସଜ୍ଜିତ ହୋଇଥିଲା । କିନ୍ତୁ ମୋସ୍‌ଲି ଏହାକୁ ପରିବର୍ତ୍ତନ କରି ପିରିୟଡ଼ିକ୍ ତାଲିକାକୁ ପରମାଣବୀୟ ସଂଖ୍ୟା କ୍ରମରେ ସଜାଇଲେ । ମୋସ୍‌ଲିଙ୍କ ନିୟମରୁ ଓ ବୋରଙ୍କ ପରମାଣୁ ଗଠନର ନମୁନାରୁ ପ୍ରମାଣିତ ହେଲା ଯେ ପରମାଣୁର ଶକ୍ତି ବିକିରଣ ଓ ରାସାୟନିକ ପ୍ରକ୍ରିୟା ପରମାଣବୀୟ ସଂଖ୍ୟା ଉପରେ ନିର୍ଭର କରେ ।

ସମୀକରଣ (13) କୁ ଭିନ୍ନ ପ୍ରକାରେ ଲେଖିଲେ ଜଣାଯିବ ଯେ ବୋର୍‌ଙ୍କ ତତ୍ତ୍ୱ ମୋସ୍‌ଲିଙ୍କ ନିୟମ ମଧ୍ୟରେ ବିଶେଷ ସାମଞ୍ଜସ୍ୟ ଅଛି । ସମୀକରଣ (13) କୁ ଆମେ ଲେଖି ପାରିବା

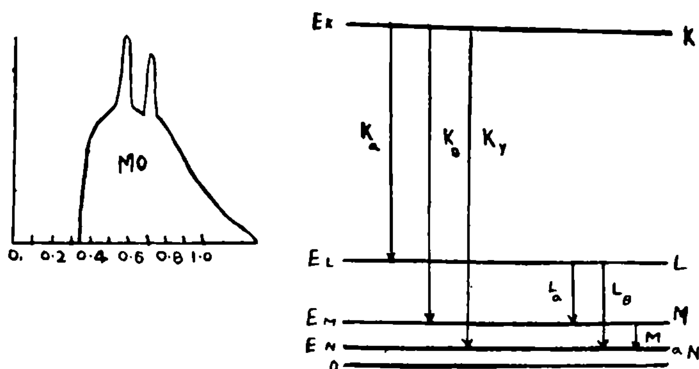
$$\nu K_\alpha = CR(Z-1)\left(\frac{1}{1^2} - \frac{1}{2^2}\right) \qquad (14)$$

ଯେଉଁଠାରେ $CR=\left(\frac{1}{1^2} - \frac{1}{2^2}\right)=k$ ଏବଂ $a=1$

ସମୀକରଣ (14) ସମୀକରଣ (10) ସହିତ ତୁଳନା କଲେ ଜଣାଯିବ ଯେ ଯେତେବେଳେ ଇଲେକଟ୍ରନ୍ $n=2$ କକ୍ଷରୁ $n=1$ କକ୍ଷକୁ ଆସେ, ସେତେବେଳେ K_α ରେଖାର ବିକିରଣ ହୁଏ ଓ $n=3$ ରୁ $n=1$ କୁ ଆସିଲେ K_β ରେଖାର ବିକିରଣ ହୁଏ । Z ସ୍ଥାନରେ $(z-1)$ ରହିବାର ଅର୍ଥ ହେଉଛି ଇଲେକଟ୍ରନ୍ $n=2$ କକ୍ଷରୁ $n=1$ କକ୍ଷକୁ ଯିବା ସମୟରେ ପ୍ରଥମ କକ୍ଷରେ ଥିବା ଏକ ଇଲେକଟ୍ରନ୍‌ର ଋଣାତ୍ମକ ଯୋଗୁ ନିଉକ୍ଲିୟସର ଚାର୍ଜ କମିଯାଏ ।

ପରେ K ବିକିରଣ ବ୍ୟତୀତ ରଞ୍ଜନ ରଶ୍ମିର ଅନ୍ୟ କେତେଗୁଡ଼ିଏ ଅଭିଲକ୍ଷଣିକ ବିକିରଣ ଥିବାର ଜଣାଗଲା । ସେଗୁଡ଼ିକ L, M, N ବିକିରଣ ନାମରେ ପରିଚିତ । ସେହିପରି ଇଲେକଟ୍ରନ୍ ଯେ କୌଣସି କକ୍ଷରୁ $n=2$

କକ୍ଷକୁ ଆସିଲେ L ବିକିରଣ ମିଳେ ଓ $n=3$ କୁ ଆସିଲେ M ବିକିରଣ ମିଳେ ।



ରଂଜନରଶ୍ମିର ଅଭିଲକ୍ଷଣିକ ବିକିରଣ

ଚିତ୍ର 4.9

ରଞ୍ଜନ ରଶ୍ମିର ନାମକରଣ ଅନୁସାରେ $n=1$ କୁ K କକ୍ଷ, $n=2$ କୁ L କକ୍ଷ, $n=3$ କୁ N କକ୍ଷ କୁହାଯାଏ । K କକ୍ଷରେ 2 ଟି L କକ୍ଷରେ 8 ଟି ଓ N କକ୍ଷରେ 18 ଟି କରି ଇଲେକଟ୍ରନ୍ ଥାଏ । ନିର୍ଦ୍ଦିଷ୍ଟ ସଂଖ୍ୟାରୁ ବେଶୀ ଇଲେକଟ୍ରନ୍ କୌଣସି ନିର୍ଦ୍ଦିଷ୍ଟ କକ୍ଷରେ ରହିପାରେ ନାହିଁ । କାରଣ ତାହା ପାଉଲି ଏକ୍ସକ୍ଲୁସନ ନୀୟମ (Pauli's Exclusion Principle) କୁ ବିରୁଦ୍ଧାଚରଣ କରିବ ।

ଉଦାହରଣ—

କେତେ ବିଭବାନ୍ତର ପ୍ରୟୋଗ କଲେ ପ୍ଲାଟିନମ୍ ଟାରଜେଟ୍‌ରୁ K_α ବିକିରଣ ହୋଇ ପାରିବ ଓ K_α ର ତରଙ୍ଗ ଦୈର୍ଘ୍ୟ କେତେ ?

K କକ୍ଷରୁ ଏକ ଇଲେକଟ୍ରନ୍ ବାହାର କଲେ ଦରକାର ହେଉଥିବା ଶକ୍ତିର ପରିମାଣ

$$E=hCR\,(Z-1)^2$$

$$=6.6\times10^{-34}\text{ ଯୁଲ୍}\times3\times10^{18}\text{ ମିଟର}\times1.097\times10^{-3}\,\dot{A}^{-1}\,(Z-1)^2$$

$$=19.8\times1.097\times10^{-19}\text{ ଯୁଲ୍ }(Z-1)$$

$$=13.6\text{ ଇ: ଭୋ: }(Z-1)^2$$

ପ୍ଲାଟିନମ୍‌ର $Z=78$

$E=13.6\times(77)^2$ ଇ: ଭୋ:$=80634$ ଇ: ଭୋ: ତେଣୁ 80634 ଭୋଲ୍ଟର ପ୍ରୟୋଗ କଲେ K_α ରଞ୍ଜନ ରଶ୍ମିର ବିକିରଣ ହେବ ।

ଆମେ ଜାଣୁ $\nu_k=CR(Z-1)^2\left(\frac{1}{1}-\frac{1}{2^2}\right)$

$$\frac{1}{\lambda}=R\ (77)^2\ \frac{3}{4}$$

$$\lambda_{K\alpha}=\frac{40000\times10^{-4}\ \text{ମିଟର}}{3\times1.097\times10^7(77)^2}$$

$$=0.205\times10^{-10}\ \text{ମିଟର}=0.205\,\text{Å}$$

୮ । ସାଦୃଶ୍ୟବୋଧକ ପଦ୍ଧତି (Correspondence Principle)

ବୋର୍ ପ୍ରକାଶ କଲେ ଯେ କ୍ୱାଣ୍ଟମ୍ ସଂଖ୍ୟା (Quantum Number) ଅଧିକ ହେଲେ ତାଙ୍କର ନୂତନ କ୍ୱାଣ୍ଟମ ତତ୍ତ୍ୱ ସଂସ୍ଥାପିତ ତତ୍ତ୍ୱ ସଙ୍ଗେ ସମାନ ହେବ । ସଂସ୍ଥାପିତ ତତ୍ତ୍ୱ ଅନୁସାରେ ଇଲେକଟ୍ରନ୍‌ର ନାଉକ୍ଲିୟସ ଚାରିପାଖେ ପରିକ୍ରମଣ ଯୋଗୁ ବିଦ୍ୟୁତ ଚୁମ୍ବକୀୟ ତରଙ୍ଗର ବିକିରଣ ହୁଏ । ଏହି ତରଙ୍ଗର ଆବୃତ୍ତି ଇଲେକଟ୍ରନ୍‌ର ପରିକ୍ରମଣ ଆବୃତ୍ତି କିମ୍ବା ପରିକ୍ରମଣ ଆବୃତ୍ତିର ସମ୍ପୂର୍ଣ୍ଣ ଗୁଣିତକ (Complete multiples) ସହିତ ସମାନ । ଯଦି ν_0 ପରିକ୍ରମଣ ଆବୃତ୍ତି ହୁଏ, ତେବେ

$$\nu_0=\frac{\omega}{2\pi}=\frac{1}{2\pi}\cdot\frac{v}{r}=\frac{1}{2\pi}\left[\frac{e^2}{(4\pi\epsilon_0)mr^3}\right]^{\frac{1}{2}}$$

$$=\frac{m\epsilon^4}{4\epsilon_0{}^2n^3h^3} \tag{15}$$

କିନ୍ତୁ $\nu_B=\frac{me^4}{8\epsilon_0{}^2h^3}\left(\frac{1}{nf^2}-\frac{1}{n_i{}^2}\right)$

$$\frac{me^4}{8\epsilon_0{}^2h^3}\times\frac{(n_f+n_i)(n_f-n_i)}{nf^2n_i{}^2}$$

$n_i\gg1,\ n_f\gg1$ ଏବଂ $n\approx n_f\approx n_i$

ତେବେ

$$\nu_B=\frac{me^4}{8\epsilon_0{}^2h^3}\,\frac{2n\Delta n}{n^4}=\frac{me^4}{4\epsilon_0{}^2h^3n^3\Delta n} \tag{16}$$

$\Delta n = 1$ ହେଲେ, ସମୀକରଣ (16) ସମୀକରଣ (15) ସମାନ ହୋଇ ଯାଉଛି ।

ପ୍ରଶ୍ନମାଳା

1. ରଞ୍ଜନ ରଶ୍ମି କିପରି ଉତ୍ପନ୍ନ ହୁଏ, ତାହା ବୁଝାଇ ଦିଅ ।
2. ରଞ୍ଜନ ରଶ୍ମି କିପରି ବିଭିନ୍ନ ଗ୍ୟାସଗୁଡ଼ିକର ଅୟନୀକରଣ (Ionisation) କରିପାରେ ?
3. ଯଦି ଅଲୋକ ରଶ୍ମି କ୍ୱାଣ୍ଟା ଆକାରରେ ପ୍ରବାହିତ ହୁଏ, ତେବେ ତାହା ଆଖିକୁ କାହିଁକି ଅବିଚ୍ଛିନ୍ନ ଦେଖାଯାଏ ?
4. ପ୍ରମାଣ କର ଯେ କ୍ୟାଥୋଡ୍ ଓ ଅନୋଡ୍ ମଧ୍ୟରେ ପ୍ରୟୋଗ କରି ଯାଇଥିବା ବିଭବାନ୍ତର ଉପରେ ରଞ୍ଜନ ରଶ୍ମିର ଶକ୍ତି ନିର୍ଭର କରେ ।
5. କ୍ୟାଥୋଡ୍ ଓ ଅନୋଡ୍ ମଧ୍ୟରେ ବିଭବାନ୍ତର 300 ଭୋଲ୍ଟ ହୋଇଥାଏ ଏବଂ ତ୍ୱରିତ ଇଲେକଟ୍ରନ୍ ସମୁଦାୟ ଶକ୍ତି ଗୋଟିଏ ମାତ୍ର ରଞ୍ଜନ ରଶ୍ମି ଫୋଟନ ବିକିରଣ କରେ, ତେବେ ତାହାର ତରଙ୍ଗ ଦୈର୍ଘ୍ୟ କେତେ ? ($\lambda = 41.3 \mathring{A}$)
6. କ୍ୟାଥୋଡ୍ ଓ ଅନୋଡ୍ ମଧ୍ୟରେ ବିଭବାନ୍ତର କେତେ ହେଲେ, ତ୍ୱରିତ ଇଲେକଟ୍ରନ୍ ଦ୍ୱାରା 10 Å ବିଶିଷ୍ଟ ରଞ୍ଜନ ରଶ୍ମିର ବିକିରଣ ହୋଇ ପାରିବ ? (1240 Volt)
7. ଯଦି ଗୋଟିଏ ଇଲେକଟ୍ରନ୍ ଫୋଟନରେ ରୂପାନ୍ତରିତ ହୁଏ, ତେବେ ସେହି ଫୋଟନର ତରଙ୍ଗ ଦୈର୍ଘ୍ୟ କେତେ ?

$$\left(\frac{hc}{\lambda} = m_{\epsilon} C^2\right)$$

8. ସାଧାରଣ ଗ୍ରେଟିଙ୍ଗ୍ କାହିଁକି ରଞ୍ଜନ ରଶ୍ମିର ବିବର୍ତ୍ତନ ପାଇଁ ଅନୁପଯୁକ୍ତ ?
9. ଗୋଟିଏ କ୍ରିଷ୍ଟାଲରେ ପରମାଣୁଗୁଡ଼ିକ ପ୍ରତି ଘନ କ୍ଷେତ୍ରର ପ୍ରତି କୋଣରେ ରହିଲେ ସେହି କ୍ରିଷ୍ଟାଲର କେତୋଟି ସମତଳ ରଞ୍ଜନ ରଶ୍ମିର ପ୍ରତିଫଳନ ପାଇଁ ବ୍ୟବହାର କରାଯାଇ ପାରିବ ଓ କିପରି ଗ୍ରେଟିଙ୍ଗ୍ ଅନ୍ତରାଳ ବିଭିନ୍ନ ସମତଳ ଉପରେ ନିର୍ଭର କରେ ?

10. କିପରି ରଞ୍ଜନ ରଶ୍ମି କ୍ରିଷ୍ଟାଲ ଭିତରେ ଥିବା ପରମାଣୁଗୁଡ଼ିକର ଅବସ୍ଥିତି ସୂଚାଇ ଦିଏ ?

11. ଗୋଟିଏ କ୍ରିଷ୍ଟାଲର ଗ୍ରେଟିଙ୍ଗ୍ ଅନ୍ତରାଳ 3 Å ହେଲେ, 2 Å ତରଙ୍ଗ ଦୈର୍ଘ୍ୟ ବିଶିଷ୍ଟ ରଞ୍ଜନ ରଶ୍ମି ପ୍ରଥମ କ୍ରମ (First Order) ପାଇଁ କେତେ ଡିଗ୍ରୀ କୋଣ କରି ପ୍ରତିଫଳିତ ହେବ ? (19° 28′)

12. ଗୋଟିଏ କ୍ରିଷ୍ଟାଲର ପ୍ରଥମ ଓ ଦ୍ୱିତୀୟ କ୍ରମର ବିବର୍ତ୍ତନ କୋଣମାନ ଯଥାକ୍ରମେ 7°-21′ ଏବଂ 14°-50′ ହେଲେ, କ୍ରିଷ୍ଟାଲର ଗ୍ରେଟିଙ୍ଗ୍ ଅନ୍ତରାଳ ଓ ବ୍ୟବହୃତ ହୋଇଥିବା ରଞ୍ଜନ ରଶ୍ମିର ତରଙ୍ଗ ଦୈର୍ଘ୍ୟ ନିର୍ଣ୍ଣୟ କର ।

13. କେଉଁ କେଉଁ ପରୀକ୍ଷାରୁ ପ୍ରମାଣିତ ହେଲା ଯେ ପରମାଣୁର ଶକ୍ତି ସ୍ତରଗୁଡ଼ିକ ଅଭିଲକ୍ଷଣିକ (characteristic) ଅଟେ ?

14. ଉଦ୍‌ଜାନ ବର୍ଣ୍ଣାଳୀର ରେଖାଗୁଡ଼ିକ ତୀକ୍ଷ୍ଣ ହୋଇଥିବାରୁ ପ୍ରମାଣ କର ଯେ ପ୍ରତ୍ୟେକ ଇଲେକଟ୍ରନ୍‌ର ଶକ୍ତି ସମାନ ।

15. ଉଦ୍‌ଜାନ ପରମାଣୁର ତୃତୀୟ କକ୍ଷର ବ୍ୟାସାର୍ଦ୍ଧର ପରିମାଣ ନିର୍ଣ୍ଣୟ କର ।

16. ଆୟନିତ ହିଲିୟମ ପରମାଣୁର ପ୍ରଥମ କକ୍ଷର ବ୍ୟାସାର୍ଦ୍ଧ ନିର୍ଣ୍ଣୟ କର ।

17. ଆୟନିତ ହିଲିୟମର ଇଲେକଟ୍ରନ୍ ଚତୁର୍ଥ କକ୍ଷରୁ ଦ୍ୱିତୀୟ କକ୍ଷକୁ ଆସିଲେ ଯେଉଁ ଆଲୋକର ବିକିରଣ ହୁଏ, ତାହାର ତରଙ୍ଗ ଦୈର୍ଘ୍ୟ ସହିତ ଉଦ୍‌ଜାନର ଇଲେକଟ୍ରନ୍ ଦ୍ୱିତୀୟ କକ୍ଷରୁ ପ୍ରଥମ କକ୍ଷକୁ ଆସିବା ସମୟରେ ବିକିରିତ ହେଉଥିବା ଆଲୋକର ତରଙ୍ଗ ଦୈର୍ଘ୍ୟ ସହିତ ତୁଳନା କର ।

18. ଉଦ୍‌ଯାନ ପରମାଣୁର ପ୍ରୋଟନ ଓ ଇଲେକଟ୍ରନ୍‌ର ମହାକର୍ଷଣୀୟ ବଳ (gravitational force) ସହିତ କୁଲମ୍ବ ବଳର ତୁଳନା କର । (4.4×10^{-40})

12. ଉଦ୍‌ଜାନ ଇଲେକଟ୍ରନ୍ ତୃତୀୟ କକ୍ଷରେ ପରିକ୍ରମଣ କରୁଥିବା ସମୟରେ ପରିକ୍ରମଣ ଆବୃତ୍ତି ନିର୍ଣ୍ଣୟ କର । (2.4×10^{14})

20. ବାମାର ଶ୍ରେଣୀର ପ୍ରଥମ ରେଖାର ତରଙ୍ଗ ଦୈର୍ଘ୍ୟ 6563 Å ହେଲେ, ଲାଇମାନ୍ ଶ୍ରେଣୀର ପ୍ରଥମ ରେଖାର ତରଙ୍ଗ ଦୈର୍ଘ୍ୟ କେତେ ? ($\lambda = 1215$ Å)

21. ହିଲିୟମର ଏକ ଆଲୋକ ରେଖାର ତରଙ୍ଗ ଦୈର୍ଘ୍ୟ 5876 Å ହେଲେ, ଦୁଇ ଶକ୍ତି ସ୍ତରର ଶକ୍ତିର ତଫାତ୍ କେତେ ? (3.38×10^{-12} ଅର୍ଗ)

22. ମନେକର 2.42×10^{-13} ଅର୍ଗ ଗତି ଶକ୍ତି ବିଶିଷ୍ଟ ଏକ ଇଲେକଟ୍ରନ ଗୋଟିଏ ଉଦ୍‌ଜାନ ଆୟନର ପ୍ରଥମ କକ୍ଷରେ ବୁଲିବାକୁ ଲାଗିଲା ଏବଂ ଇଲେକଟ୍ରନ୍‌ର ଅବଶିଷ୍ଟ ଶକ୍ତି ଫୋଟନ ଆକାରରେ ବିକିରିତ ହେଲା, ତେବେ ଫୋଟନର ଆବୃତ୍ତି କେତେ ? (3.65×10^{15}/ସେକଣ୍ଡ)

23. ନିମ୍ନଶକ୍ତି ସ୍ତରରେ ଥିବା ଏକ ଉଦ୍‌ଜାନ ପରମାଣୁ 12.2 ଇ: ଭୋ: ଶକ୍ତି ଗ୍ରହଣ କଲେ ତାର ଇଲେକଟ୍ରନ୍‌ଟି କେଉଁ କକ୍ଷକୁ ଯିବ ? (n =3)

24. ଉଦ୍‌ଜାନର ଆୟନୀକୃତ ବିଭବ (Ionisation Potentic) ନିର୍ଣ୍ଣୟ କର ।

25. ହିଲିୟମର ଆୟନିକୃତ ବିଭବ ନିର୍ଣ୍ଣୟ କର । (54.1 ଇ: ଭୋ:)

26. ପ୍ରମାଣ କର ବାମାର ଶ୍ରେଣୀର ସବୁଠାରୁ ଉଚ୍ଚତମ ଆବୃତ୍ତି ବିଶିଷ୍ଟ ରେଖାର ତରଙ୍ଗ ଦୈର୍ଘ୍ୟ 3647 Å ଅଟେ ।

27. ଯଦି ଲାଇମାନ ଶ୍ରେଣୀର ପ୍ରଥମ ରେଖାର ତରଙ୍ଗ ଦୈର୍ଘ୍ୟ 1215 Å ହୁଏ, ତେବେ ସେଥିରୁ ପ୍ରମାଣ କର ଯେ ଉଦ୍‌ଜାନର ଆୟନୀକୃତ ଶକ୍ତିର ପରିମାଣ 13.6 ଇ: ଭୋ: ହେବ ।

ପଞ୍ଚମ ଅଧ୍ୟାୟ

ତରଙ୍ଗ ଓ ପଦାର୍ଥର ଦ୍ୱି-ପ୍ରକୃତି

(Dual nature of Matter and Waves)

ପୂର୍ବ ଅଧ୍ୟାୟମାନଙ୍କରୁ ଆମେ ଜାଣିଛୁ ଯେ ତରଙ୍ଗ ତତ୍ତ୍ୱ ସାହାଯ୍ୟରେ ବ୍ୟତିକରଣ (Interference), ବିବର୍ତ୍ତନ (diffraction) ଓ ପାର୍ଶ୍ୱୀକରଣ (Polarisation) ପ୍ରଭୃତି କେତେକ ଭୌତିକ ଘଟଣା ବୁଝା ଯାଇପାରେ ଏବଂ କୃଷ୍ଣବସ୍ତୁ ବିକିରଣ, ଆଲୋକ ବିଦ୍ୟୁତ ପ୍ରଭାବ ଓ କମ୍ପଟନ୍ ପ୍ରଭାବ ପ୍ରଭୃତି ଅନ୍ୟ କେତେକ ଭୌତିକ ଘଟଣା ପଦାର୍ଥ ତତ୍ତ୍ୱ ସାହାଯ୍ୟରେ ବୁଝି ହୁଏ । ଏହିଥିରୁ ଆଲୋକର ଦ୍ୱି-ପ୍ରକୃତିର ସୂଚନା ମିଳେ । ଏହିପରି ପଦାର୍ଥ ମଧ୍ୟ ସ୍ଥଳ ବିଶେଷରେ ତରଙ୍ଗ ପରି କାମ କରେ ।

୧ । ବସ୍ତୁ ତରଙ୍ଗ (Matter Waves)

1925 ରେ ଡି ବ୍ରଗ୍‌ଲି (De Broglie) ସର୍ବ ପ୍ରଥମେ ବସ୍ତୁ ତରଙ୍ଗ (Matter Waves) ବିଷୟରେ ଚିନ୍ତା କରିଥିଲେ । ତାଙ୍କ ଅନୁସାରେ ଯଦି ଫୋଟନ୍‌ର ବସ୍ତୁତ୍ୱ ଥାଏ ବୋଲି ଧରି ନିଆଯାଏ, ତେବେ

$$E=mc^2=h\nu=\frac{hc}{\lambda} \tag{5·1}$$

କିମ୍ବା $\lambda=\dfrac{h}{mc}$ $mc=$ ଫୋଟନ୍‌ର ସଂବେଗ

ଗୋଟିଏ କଣିକାର ତରଙ୍ଗ ଦୈର୍ଘ୍ୟକୁ λ ଧରିନେଲେ ଆମେ ପାଇବୁ

$$\lambda=\frac{h}{mv}=\frac{h}{p} \tag{5·2}$$

ଯେଉଁଠାରେ $P=$ କଣିକାର ସଂବେଗ

ସେହିପରି ଗୋଟିଏ ଗତିଶୀଳ ଇଲେକଟ୍ରନ୍‌କୁ ଏକ ତରଙ୍ଗ ପ୍ୟାକେଟ (Packet) ବୋଲି ଧରି ନିଅଗଲେ ନିର୍ଦ୍ଦିଷ୍ଟ ଗତି ବିଶିଷ୍ଟ ଏକ ଇଲେକଟ୍ରନ୍ ଗୁଚ୍ଛକୁ ନିର୍ଦ୍ଦିଷ୍ଟ ଶକ୍ତି ବିଶିଷ୍ଟ ବସ୍ତୁ ତରଙ୍ଗ ବୋଲି ଧରି ନିଆ ଯାଇପାରେ ।

ଯଦି ଗୋଟିଏ ଇଲେକଟ୍ରନ୍ 100 ଭୋଲ୍ଟ ବିଭବାନ୍ତର ଦ୍ୱାରା ତ୍ୱରିତ ହୁଏ ଓ ତାର ବେଗ u ହୁଏ, ତେବେ

$$\frac{1}{2}mv^2=\frac{eV}{300}$$

କିମ୍ବା $$m^2v^2=\frac{2meV}{300}$$

କିମ୍ବା $$\lambda=\frac{h}{mv}=h\sqrt{\frac{150}{meV}}$$

$$=\sqrt{\frac{105}{V}}\,10^{-8} \text{ ସେ: ମି:} \qquad (5.3)$$

ତେଣୁ ଯେତେବେଳେ V=150 ଭୋଲ୍ଟ $\lambda=1$ Å

ଏବଂ ଯେତେବେଳେ V=15,000 ଭୋଲ୍ଟ $\lambda=0.1$ Å

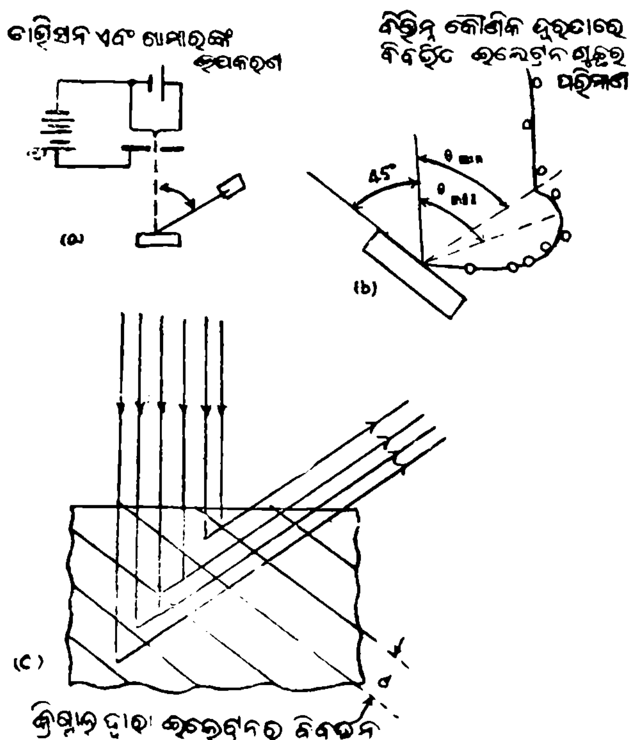
ଏହିଥିରୁ ଜଣାଯାଏ ଇଲେକଟ୍ରନ୍ ତରଙ୍ଗର ତରଙ୍ଗ ଦୈର୍ଘ୍ୟ ରଞ୍ଜନ ରଶ୍ମିର ତରଙ୍ଗ ଦୈର୍ଘ୍ୟ ସହିତ ପ୍ରାୟ ସମାନ । ତେଣୁ ଇଲେକଟ୍ରନ୍ ତରଙ୍ଗର ବିବର୍ତ୍ତନ ପରୀକ୍ଷା ଦ୍ୱାରା ବିଭିନ୍ନ ବେଗ ବିଶିଷ୍ଟ ଇଲେକଟ୍ରନ୍‌ର ତରଙ୍ଗ ଦୈର୍ଘ୍ୟ ମପା ଯାଇ ପାରିବ । ସେହିପରି ବିଭିନ୍ନ ବେଗ ବିଶିଷ୍ଟ ପ୍ରୋଟନ୍ ଓ ନିଉଟ୍ରନ୍‌ରେ ଡି ବ୍ରଗ୍ଲି ତରଙ୍ଗ ଥାଏ । ସେଗୁଡ଼ିକ ବିଦ୍ୟୁତ ଚୁମ୍ବକୀୟ ତରଙ୍ଗ ନୁହେଁ ; କିନ୍ତୁ ବସ୍ତୁ ତରଙ୍ଗ !

୬ । ଇଲେକଟ୍ରନ୍ ବିବର୍ତ୍ତନ (Electron diffraction)

ଡି ବ୍ରଗ୍ଲିଙ୍କ ବସ୍ତୁ ତରଙ୍ଗ ପ୍ରଥମେ ଡାଭିସନ (Dovisson) ଏବଂ ଗାରମର୍ (Germer) ଙ୍କ ଦ୍ୱାରା ପରୀକ୍ଷିତ ହୋଇଥିଲା । ସେମାନେ ଏକ ଟଙ୍ଗଷ୍ଟନ୍ ତନ୍ତୁ (Filament) ରୁ ନିର୍ଗତ ହେଉଥିବା ଇଲେକଟ୍ରନ୍‌ଗୁଡ଼ିକୁ ବିଭବାନ୍ତର ପ୍ରୟୋଗ ଦ୍ୱାରା ନିର୍ଦ୍ଦିଷ୍ଟ ପରିବେଗ ବିଶିଷ୍ଟ ଇଲେକଟ୍ରନ୍ ଗୁଚ୍ଛ ସୃଷ୍ଟି କରୁଥିଲେ । ଏହି ଗୁଚ୍ଛ ଏକ ନିକେଲ ଟାରଜେଟ୍ (Target) ଦ୍ୱାରା ବିଭିନ୍ନ ଦିଗରେ ବିବର୍ତ୍ତିତ ହେଉଥିଲା । ସେମାନେ ଏକ ଇଲେକଟ୍ରନ୍ ସୂଚକ (detector) ଦ୍ୱାରା ବିବର୍ତ୍ତିତ ଇଲେକଟ୍ରନ୍‌ର ପରିମାଣ ନିର୍ଣ୍ଣୟ କରୁଥିଲେ ।

ସେମାନେ 54 ଇ: ଭୋ: ଶକ୍ତି ବିଶିଷ୍ଟ ଇଲେକଟ୍ରନ୍ ଗୁଚ୍ଛକୁ ନିକେଲ ଟାରଜେଟ୍ ଦ୍ୱାରା ବିବର୍ତ୍ତିତ କରାଇ ନିର୍ଗତ ଇଲେକଟ୍ରନ୍ ଗୁଚ୍ଛର

ପରିମାଣ ବିଭିନ୍ନ ଦିଗରେ ନିର୍ଣ୍ଣୟ କଲେ ସେମାନେ ପରୀକ୍ଷାରୁ ପାଇଲେ



ଚିତ୍ର (5.1)

ଇଲେକଟ୍ରନ୍ ଗୁଚ୍ଛର ପରିମାଣ $\theta=50°$ରେ ସବୁଠାରୁ ବେଶୀ ହେଉଛି । ତେଣୁ ବ୍ରାଗ୍‌ଙ୍କ ବିବର୍ତ୍ତନ ନିୟମାନୁସାରେ

$$n\lambda=2d\sin 50 \qquad (5\cdot4)$$

ନିକେଲ ପାଇଁ $2d=2.15\text{Å}$, $n=1$

ତେଣୁ $\lambda=2.15\text{Å}\ \sin 50°=1.65\ \text{Å}$

ଡି ବ୍ରଗଲିଙ୍କ ନିୟମାନୁସାରେ

$$\lambda=\sqrt{\frac{150}{54}}\,\text{Å}=1.66\,\text{Å}$$

ଏଥିରୁ ପ୍ରମାଣିତ ହେଲା ଯେ ସ୍ଥୂଳ ବିଶେଷରେ ବସ୍ତୁ ତରଙ୍ଗର ଧର୍ମ ପ୍ରକାଶ କରିଥାଏ ।

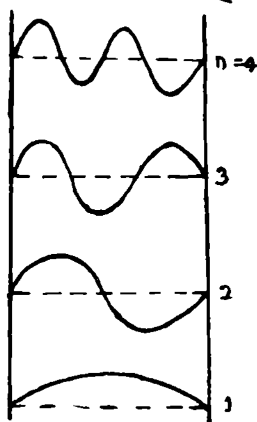
ଡି ବ୍ରଗ୍‌ଲିଙ୍କ ପ୍ରକଳ୍ପ (Hypothesis) ଅନୁସାରେ ଯେ କୌଣସି କଣିକାକୁ ମଧ୍ୟ ତରଙ୍ଗ ଭାବରେ ବ୍ୟବହାର କରାଯାଇପାରେ । ନିଉଟ୍ରନ୍‌ର ବିବର୍ତ୍ତନ ସାହାଯ୍ୟରେ କୌଣସି କଠିନ ପଦାର୍ଥ ଭିତରେ ଥିବା ନିଉକ୍ଲିୟସର ଅବସ୍ଥିତି ଜାଣି ହୁଏ । କାରଣ ନିଉଟ୍ରନ୍‌ଗୁଡ଼ିକ ଚାର୍ଜ ଶୂନ୍ୟ ହୋଇଥିବାରୁ ଏହା ଇଲେକଟ୍ରନ ଦ୍ୱାରା ବିବର୍ତ୍ତିତ ନ ହୋଇ ନିଉକ୍ଲିୟସ ଦ୍ୱାରା ବିବର୍ତ୍ତିତ ହୁଏ । ଆମେ ଆଗରୁ ଜାଣିଛୁ ରଞ୍ଜନ ରଶ୍ମି ଇଲେକଟ୍ରନ୍ ଦ୍ୱାରା ବିବର୍ତ୍ତିତ ହୁଏ । ତେଣୁ ଏହି ଦୁଇ ପରୀକ୍ଷାରୁ ପଦାର୍ଥର ଗଠନ ସମ୍ବନ୍ଧରେ ଜ୍ଞାନ ଲାଭ କରି ହୁଏ ।

୩ । ତରଙ୍ଗ କ୍ରିୟାବିଧି (Wave mechanics)

ପୂର୍ବବର୍ତ୍ତୀ ଆଲୋଚନାରୁ ଜଣାଯାଏ ପ୍ରତ୍ୟେକ ଗତିଶୀଳ କଣିକାର (Particle) ନିର୍ଦ୍ଦିଷ୍ଟ ତରଙ୍ଗ ଦୈର୍ଘ୍ୟ ଥାଏ । କଣିକାର ବେଗ ବା ଶକ୍ତି ବଢ଼ିବା ସଙ୍ଗେ ସଙ୍ଗେ ତରଙ୍ଗ ଦୈର୍ଘ୍ୟର ହ୍ରାସ ହୁଏ । ଏହି ସତ୍ୟରୁ ଏକ ନୂତନ କ୍ରିୟାବିଧିର ସୂଚନା ମିଳିଲା । ଏହି ନୂତନ କ୍ରିୟାବିଧି (Mechanics) ଦ୍ୱାରା ଆଲୋକର ତରଙ୍ଗ ତତ୍ତ୍ୱ (Electromagnetic Theory) ଓ କଣିକା ତତ୍ତ୍ୱ (Particle theory), କଣିକାର ଗତିତତ୍ତ୍ୱ (Dynamics of Particles) ପ୍ରଭୃତି ଭୌତିକ ଘଟଣା ବୁଝା ଯାଇପାରିଲା ।

ଏହି ନୂତନ କ୍ରିୟାବିଧି ବିଷୟରେ ସମ୍ୟକ୍ ଧାରଣା କରିବା ପାଇଁ ଗୋଟିଏ ଇଲେକଟ୍ରନ୍ ଏକ ବାକ୍ସ ମଧ୍ୟରେ ଆବଦ୍ଧ ହୋଇଥିବାର କଳ୍ପନା କର । ବାକ୍ସରେ ଥିବା ଇଲେକଟ୍ରନ୍‌କୁ ଏକ ତରଙ୍ଗ ଦ୍ୱାରା ନିରୂପଣ (Represent) କରାଯାଇପାରେ । ଏହି ଇଲେକଟ୍ରନ୍ ତରଙ୍ଗ ଶବ୍ଦ ତରଙ୍ଗ ପରି ବାକ୍ସର କାନ୍ଥ ଦ୍ୱାରା ଥରକୁ ଥର ପ୍ରତିଫଳିତ ହୁଏ ବୋଲି ଧରି ନିଆଯାଇ-ପାରେ । ଏହାକୁ ଏକ ପ୍ରକାର ଅପ୍ରଗାମୀ ତରଙ୍ଗ (Standing Waves) ବୋଲି ମଧ୍ୟ କୁହା ଯାଇପାରେ । ଯେହେତୁ ଇଲେକଟ୍ରନ୍‌ଟିକୁ ବାକ୍ସ ବାହାରେ ପାଇବାର ସମ୍ଭାବ୍ୟତା (Probability) ଶୂନ୍ୟ ତେଣୁ ବାକ୍ସ ବାହାରେ ଇଲେକ-ଟ୍ରନ୍ ତରଙ୍ଗର ଆୟାମ (amplitude) ଶୂନ୍ୟ ଅଟେ ଏବଂ ବାକ୍ସ ଭିତରେ ଇଲେକଟ୍ରନ୍ ତରଙ୍ଗର ଆୟାମ ψ ଏପରି ହେବା ଦରକାର ଯଦ୍ୱାରା କି ଇଲେକଟ୍ରନ୍‌ଟିକୁ ବାକ୍ସ ଭିତରେ ପାଇବାର ସମ୍ଭାବ୍ୟତା (Probability) 1 ହେବ ।

ଚିତ୍ର (5.2) ରେ x ଦିଗରେ ଗତିଶୀଳ ଏକ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନର ତରଙ୍ଗ ଚିତ୍ର ଦିଆ ଯାଇଅଛି । ଯେ ହେତୁ ବାକ୍ସର ଦୁଇ କାନ୍ଥରେ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ୍ ତରଙ୍ଗର ଆୟାମର (Amplitude) ପରିମାଣ ଶୂନ୍ୟ ଅଟେ, ସେହେତୁ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ୍ ତରଙ୍ଗର ତରଙ୍ଗ ଦୈର୍ଘ୍ୟ କେତେକ ନିର୍ଦ୍ଦିଷ୍ଟ ପରିମାଣର ହୋଇଥାଏ । ଯଥା :—



ଚିତ୍ର (5.2)

$$\lambda_1 = 2L,$$

$$\lambda_2 = \frac{2L}{2}$$

$$\lambda_3 = \frac{2L}{3}$$

କିମ୍ବା $\lambda_m = \frac{2L}{m}$

ଯେଉଁଠାରେ L = ବାକ୍ସର ଲମ୍ବା

ତେଣୁ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ୍ର ସଂବେଗ ଓ ଶକ୍ତି କେତେକ ନିର୍ଦ୍ଦିଷ୍ଟ ପରିମାଣର ହୋଇଥାଏ, ଯଥା :—

$$P_n = \frac{h}{\lambda_m} \qquad (5{\cdot}6)$$

ଏବଂ $E_n = \frac{1}{2} m v_n^2$

$$= \frac{1}{2}\frac{P_n^2}{m} = \frac{h^2}{2\lambda_n^2 m} = \frac{h^2}{8mL^2} n^2 \qquad (5{\cdot}7)$$

ଯେଉଁଠାରେ n କୁ କ୍ୱାଣ୍ଟମ ସଂଖ୍ୟା କୁହାଯାଏ ଓ

$$n = 1, 2, 3 \ldots\ldots\ldots\ldots$$

ସଂସ୍ଥାପିତ ତତ୍ତ୍ୱ ଅନୁସାରେ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ୍ ପ୍ରତିଥର ବାକ୍ସର କାନ୍ଥ ଦ୍ୱାରା ପ୍ରତିଫଳିତ ହେବା ସମୟରେ ବିଦ୍ୟୁତ ଚୁମ୍ବକୀୟ ତରଙ୍ଗ ବିକିରଣ କରିଥାଏ । ଏହି ପ୍ରକାର ବିକିରଣ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ୍ର ଶକ୍ତି ଶୂନ୍ୟ ହେବା ପର୍ଯ୍ୟନ୍ତ ଚାଲିଥାଏ କିନ୍ତୁ କ୍ୱାଣ୍ଟମ ବଳବିଜ୍ଞାନ (Quantum Mechanics) ଅନୁସାରେ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ୍ର ନିମ୍ନତମ ଶକ୍ତିର ପରିମାଣ

$$E_1 = \frac{h^2}{8mL^2}$$

ଉଦ୍‌ଜାନ ପରମାଣୁ ସ୍ଥାୟୀ ହୋଇଥିବାରୁ ଏହାର ଇଲେକ୍‌ଟ୍ରନ୍‌ ଶକ୍ତିର ପରିମାଣ ଶୂନ୍ୟ ନୁହେଁ । ଏହିଥିରୁ ଜଣାଏ କ୍ୱାଣ୍ଟମ କ୍ରିୟାବିଧି ଦ୍ୱାରା ମିଳିଥିବା ସତ୍ୟ ସହିତ ଭୌତିକ ଘଟଣାର ବିଶେଷ ସାମଞ୍ଜସ୍ୟ ଅଛି ।

ତରଙ୍ଗ କ୍ରିୟାବିଧି ସାହାଯ୍ୟରେ ପରମାଣୁ ଉପରି ନିର୍ଦ୍ଦିଷ୍ଟ ଆବୃତ୍ତି ବିଶିଷ୍ଟ ବିଦ୍ୟୁତ ଚୁମ୍ବକୀୟ ତରଙ୍ଗ ବିକିରଣ କରେ, ଅତି ସହଜରେ ବୁଝି ହୁଏ । ଆମେ ଆଗରୁ ଆଲୋଚନା କରିଛୁ ଯେ ଇଲେକ୍‌ଟ୍ରନ୍‌ ଏକ ବାକ୍ସ ଭିତରେ ହେଉ କିମ୍ବା ନିଉକ୍ଲିୟସ ଦ୍ୱାରା ଆବଦ୍ଧ ଥିବା ସମୟରେ ଇଲେକ୍‌ଟ୍ରନ୍‌ ଶକ୍ତି କେତେକ ନିର୍ଦ୍ଦିଷ୍ଟ ପରିମାଣର ହୋଇଥାଏ । ଯଦି ଇଲେକ୍‌ଟ୍ରନ୍‌ ଥରକେ ଗୋଟିଏ ଫୋଟନ ବିକିରଣ କରେ ଓ ବିକିରିତ ତରଙ୍ଗର ଆବୃତ୍ତି ν ହୁଏ, ତେବେ ବିକିରିତ ଶକ୍ତିର ପରିମାଣ ହେଲା

$$h\nu = En^1 - En$$

ଯେଉଁଠାରେ En^1 ଏବଂ En ଇଲେକ୍‌ଟ୍ରନ୍‌ ବିଭିନ୍ନ ଅବସ୍ଥାରେ ଥିବା ସମୟରେ ତାର ଶକ୍ତିର ପରିମାଣ ।

ଉଦାହରଣ—

ମନେକର ଗୋଟିଏ ଇଲେକ୍‌ଟ୍ରନ୍‌ ଗୋଟିଏ ବାକ ଭିତରେ ଆବଦ୍ଧ ହୋଇଅଛି ଏବଂ ଇଲେକ୍‌ଟ୍ରନ୍‌ଟି ବାକ୍ସର ବିପରୀତ ଦିଗରେ ଥିବା ଦୁଇ କାନ୍ଥ ଦ୍ୱାରା ଥରକୁ ଥର ପ୍ରତିଫଳିତ ହେଉଛି । ଯଦି ଇଲେକ୍‌ଟ୍ରନ୍‌ର ସର୍ବନିମ୍ନ ଶକ୍ତିର ପରିମାଣ 0.375 ଇ: ଭୋ: ହୁଏ, ତେବେ (a) ବିପରୀତ ଦିଗରେ ଥିବା ଦୁଇ କାନ୍ଥର ଦୂରତା କେତେ ? (b) ଯଦି ଇଲେକ୍‌ଟ୍ରନ୍‌ଟି $n^1=2$ ରୁ $n=1$ ଅବସ୍ଥାକୁ ଚାଲିଆସେ, ତେବେ ବିତରିତ ହେଉଥିବା ତରଙ୍ଗର ତରଙ୍ଗ ଦୈର୍ଘ୍ୟ କେତେ ?

(a) ସମୀକରଣ (5.7) ରୁ ଆମେ ପାଉଁ

$$E_1 = \frac{h^2}{8mL^2}$$

କିମ୍ବା $$L^2 = \frac{(6.625 \times 10^{-34})^2 (\text{ଯୁଲ୍ ସେକେଣ୍ଡ})^2}{4(9.1 \times 10^{-31}) \times .375 \times 1.6 \times 10^{-19}}$$

(କି:ଗ୍ରା: × ଯୁଲ୍)

$L = 10^{-9}$ ମିଟର

(b) ଯଦି ଫୋଟନର ଆବୃତ୍ତି ν ହୁଏ, ତେବେ

$$h\nu = E_2 - E_1 = .375\ (2^2 - 1^2) \text{ ଇ: ଭୋ:}$$

$$= 1.125 \text{ ଇ: ଭୋ:}$$

$$\text{ତେଣୁ} \quad \lambda = \frac{c}{\nu} = \frac{3. \times 10^8 \times 6.6 \times 10^{-34} (\text{ମିଟର})(\text{ଯୁଲ୍ସେକେଣ୍ଡ})}{1.125 \times 1.6 \times 10^{-19}\ (\text{ଯୁଲ୍})(\text{ସେକେଣ୍ଡ})}$$

$$= 11000\ \text{Å}$$

ପୂର୍ବ ଆଲୋଚନାରୁ ମିଳେ କୌଣସି ପଦ୍ଧତି (System) ର ଶକ୍ତି କେତେକ ନିର୍ଦ୍ଦିଷ୍ଟ ପରିମାଣ ହୁଏ ଏବଂ ସର୍ବନିମ୍ନ ଶକ୍ତିର ପରିମାଣ ଶୂନ୍ୟ ନୁହେଁ। ଏହା ବ୍ୟତୀତ କ୍ୱାଣ୍ଟମ କ୍ରିୟାବିଧିରୁ ଅନ୍ୟ ଏକ ସତ୍ୟର ସୂଚନା ମିଳେ। ମନେକର ଏକ କଣିକା ବିଭବ ପ୍ରାଚୀର (Potential Barrier) ଦ୍ୱାରା ଆବଦ୍ଧ ହୋଇଛି। ଯଦି କଣିକାର ବିଭବାନ୍ତର ଶକ୍ତି ବିଭବ ପ୍ରାଚୀରଠାରୁ ବେଶୀ ହୋଇଥାଏ, ତେବେ କଣିକାଟି ଅତି ସହଜରେ ବିଭବ ପ୍ରାଚୀରକୁ ଅତିକ୍ରମ କରିପାରେ। ଯଦି କଣିକାର ବିଭବାନ୍ତର ଶକ୍ତି ବିଭବ ପ୍ରାଚୀରଠାରୁ କମ୍ ହୋଇଥାଏ, ସୁସ୍ଥାପିତ କ୍ରିୟାବିଧି (classical mechanics) ଅନୁସାରେ କଣିକାଟି କୌଣସି ପ୍ରକାରେ ବିଭବ ପ୍ରାଚୀରକୁ ଅତିକ୍ରମ କରି ଯାଇପାରେ ନାହିଁ। କିନ୍ତୁ ତରଙ୍ଗ କ୍ରିୟାବିଧି ଅନୁସାରେ କଣିକାର ବିଭବାନ୍ତର ଶକ୍ତି ବିଭବ ପ୍ରାଚୀରଠାରୁ କମ୍ ହୋଇଥିଲେ ମଧ୍ୟ କଣିକାଟି ବିଭବ ପ୍ରାଚୀରକୁ ଅତିକ୍ରମ କରିବାର ସମ୍ଭାବନା ଥାଏ। କଣିକା ତରଙ୍ଗର ଆକୃତି ବାକ୍ସ ଭିତରେ ସାଇନ (Sinusoidal) ସଦୃଶ। ବାକ୍ସ ବାହାରେ ଚରଘାତୀ (Exponential)। ଏଣୁ ବିଭବ ପ୍ରାଚୀର (Potential barrier) କୁ ଅତିକ୍ରମ କରିଯାଏ। ତେଣୁ ବିଭବ ପ୍ରାଚୀର ବାହାରେ କଣିକାଟିକୁ ପାଇବାର ସମ୍ଭାବ୍ୟତା (Probability) ଅତ୍ୟନ୍ତ କମ୍ ହେଲେ ମଧ୍ୟ ଶୂନ୍ୟ ହୁଏ ନାହିଁ। ଏଠାରେ ମନେ ରଖିବାକୁ ହେବ ଯେ ଯଦି କଣିକାର ଗତି ଶକ୍ତିର ପରିମାଣ ବେଶୀ ହୁଏ, ତେବେ କଣିକାର ତରଙ୍ଗ ଦୈର୍ଘ୍ୟ କମିଯାଏ ଓ ବିଭବ ପ୍ରାଚୀର ମଧ୍ୟରେ ନିସ୍ପନ୍ଦ (Node) ସଂଖ୍ୟାର ପରିମାଣ ବେଶୀ ହୁଏ (ଚିତ୍ର (5.2) ଦେଖ)।

ମୋଟାମୋଟି ଭାବରେ କହିବାକୁ ଗଲେ କଣିକାର ବିଭବ ଶକ୍ତି ବିଭବ ପ୍ରାଚୀରଠାରୁ କମ୍ ହେଲେ ମଧ୍ୟ କଣିକାଟି ବିଭବ ପ୍ରାଚୀରକୁ ଅତିକ୍ରମ କରି

ଯିବାର ସମ୍ଭାବ୍ୟତା ଅତ୍ୟନ୍ତ କମ୍ ହେଲେ ମଧ୍ୟ ଶୂନ୍ୟ ହୁଏନି । ଏହି ତରଙ୍ଗ କ୍ରିୟାବିଧି ଦ୍ୱାରା ନିଉକ୍ଲିୟସର ∝ ବିଘଟନ ପ୍ରକ୍ରିୟା ସହଜରେ ବୁଝି ହୁଏ ।

୪ । କ୍ୱାଣ୍ଟମ ସଂଖ୍ୟା

ତରଙ୍ଗ କ୍ରିୟାବିଧି ସାହାଯ୍ୟରେ ଉଦ୍‌ଜାନର ବିଭିନ୍ନ ଅବସ୍ଥାର ଶକ୍ତିର ପରିମାଣ ନିର୍ଣ୍ଣୟ କରାଗଲେ ଆମେ ପାଉଁ

$$E_n = \frac{-me^4}{8\epsilon_0^2 h^2 n^2} \qquad (5{\cdot}8)$$

ଯେଉଁଠାରେ $n=1, 2, 3.........$

ଏହା ବୋରଙ୍କ ତତ୍ତ୍ୱରୁ ମିଳିଥିବା ଉତ୍ତର ସହିତ ସମାନ । ଏଠାରେ ପ୍ରଧାନ କ୍ୱାଣ୍ଟମ ସଂଖ୍ୟା n ନିଉକ୍ଲିୟସଠାରୁ ବିଭିନ୍ନ ଦୂରରେ ଥିବା ଏକକ ଆୟତନ (Unit Volume) ମଧ୍ୟରେ ଇଲେକଟ୍ରନ୍ ପାଇବାର ସାମ୍ଭାବ୍ୟତା (Probability) ସହିତ ସମ୍ପୃକ୍ତ । ଇଲେକଟ୍ରନ୍‌ର ସମ୍ଭାବ୍ୟତା ବଣ୍ଟନ (Probability distribution) ରୁ ନିଉକ୍ଲିୟସଠାରୁ ଇଲେକଟ୍ରନ୍‌ର ହାରାହାରି (Average) ଦୂରତା ହିସାବ କଲେ ତାହା ବୋର କକ୍ଷ ସହିତ ସମାନ ହୁଏ ।

ତରଙ୍ଗ କ୍ରିୟାବିଧିରୁ ସୂଚନା ମିଳେ ଯେ ଏକ ନିର୍ଦ୍ଦିଷ୍ଟ ପ୍ରଧାନ କ୍ୱାଣ୍ଟମ ସଂଖ୍ୟା ପାଇଁ ଉଦ୍‌ଜାନ ପରମାଣୁ କେତେଗୁଡ଼ିଏ ବିଭିନ୍ନ ଅବସ୍ଥାରେ (State) ରହିପାରେ । ସେହି ଅବସ୍ଥାଗୁଡ଼ିକ କୌଣିକ ସଂବେଗ (Angular momentum) ଉପରେ ନିର୍ଭର କରେ ଓ ଅନ୍ୟ ଏକ କ୍ୱାଣ୍ଟମ ସଂଖ୍ୟା ସହିତ ସମ୍ପୃକ୍ତ । ଏହି କ୍ୱାଣ୍ଟମ ସଂଖ୍ୟାକୁ କକ୍ଷୀୟ କ୍ୱାଣ୍ଟମ ସଂଖ୍ୟା (crbital quantum number) କୁହାଯାଏ ଓ ଏହାର ବିଭିନ୍ନ ପରିମାଣ ହେଲା

$$l=0,\ 1,\ 2.\ldots(n-1) \qquad (5{\cdot}9)$$

ତରଙ୍ଗ କ୍ରିୟାବିଧି ଆଲୋଚନାରୁ ଜଣାଯାଏ ନିର୍ଦ୍ଦିଷ୍ଟ କୌଣିକ ସଂବେଗ ବିଶିଷ୍ଟ ପରମାଣୁ ଚୁମ୍ବକ କ୍ଷେତ୍ର (Magnetic Field) ମଧ୍ୟରେ ରହିଲେ ବିଭିନ୍ନ ଅବସ୍ଥାରେ ରହିପାରେ । ସେହି ଅବସ୍ଥାଗୁଡ଼ିକ ଚୁମ୍ବକୀୟ କ୍ୱାଣ୍ଟମ ସଂଖ୍ୟା (Magnetic quantum number) ସହିତ ସମ୍ପୃକ୍ତ । ଚୁମ୍ବକୀୟ କ୍ୱାଣ୍ଟମ ସଂଖ୍ୟା ml ର ପରିମାଣ ହେଲା

$$ml=-l,\ (l-1),\ (l-2)\ldots\ldots-1,\ 0+1\ (l-1)$$

ତେଣୁ ପରମାଣୁର ଅବସ୍ଥା ଇଲେକଟ୍ରନ୍‌ର କ୍ୱାଣ୍ଟମ ସଂଖ୍ୟା n, l, ml ଦ୍ୱାରା ପ୍ରକାଶ କରାଯାଇପାରେ ।

ଅନ୍ୟ ପରମାଣୁମାନଙ୍କର ବର୍ଣ୍ଣାଳୀରୁ ଜଣାଗଲା ଅଧିକାଂଶ ରେଖା ପାଖାପାଖି ଥିବା ଦୁଇ କିମ୍ବା ଅଧିକ ରେଖାକୁ ନେଇ ଗଠିତ । ଏହାର ତାତ୍ତ୍ୱିକ ବ୍ୟାଖ୍ୟା କରିବା ପାଇଁ ଇଲେକଟ୍ରନ୍ ନିଜ ମେରୁଦଣ୍ଡର ଚାରିପାଖେ ବୁଲୁଥିବାର କଳ୍ପନା କରାଗଲା ଓ ଏହି ଘୂର୍ଣ୍ଣନର କୌଣିକ ସଂବେଗ (Angular momentum) ର ପରିମାଣ $\frac{1}{2}\,\frac{sh}{2\pi}$ ଓ ଚୁମ୍ବକୀୟ ସ୍ପିନ କ୍ୱାଣ୍ଟମ ସଂଖ୍ୟା (Magnetic spin quantum number) ର ପରିମାଣ $m_s=+\frac{1}{2}$ ଓ $m_s=-\frac{1}{2}$ ବୋଲି ଧରି ନିଆଗଲା । ଇଲେକଟ୍ରନ୍ ଚାରିଜର ଘୂର୍ଣ୍ଣନ ଯୋଗୁ ସୃଷ୍ଟି ହେଉଥିବା ଚୁମ୍ବକୀୟ ଆଘୂର୍ଣ୍ଣ (magnetic moment) ଯୋଗୁ ପରମାଣୁଟି ବିଭିନ୍ନ ଅବସ୍ଥାରେ ରହିପାରେ । ଏହି କଳ୍ପନା ଦ୍ୱାରା ପରମାଣୁମାନଙ୍କର ବର୍ଣ୍ଣାଳୀର ପ୍ରକୃତ ତାତ୍ତ୍ୱିକ ବ୍ୟାଖ୍ୟା କରାଯାଇ ପାରିଲା ।

୫ । ପାଉଲି ଅପବର୍ଜନ ନିୟମ (Pauli exclusion Principle)

1925 ମସିହାରେ ପାଉଲି (Pauli) ସୂଚାଇଲେ ଯେ ଏକ ପରମାଣୁ ମଧ୍ୟରେ ଥିବା ଯେ କୌଣସି ଦୁଇଟି ଇଲେକଟ୍ରନ୍‌ର ସମୁଦାୟ କ୍ୱାଣ୍ଟମ୍ ସଂଖ୍ୟା ପରସ୍ପର ସହିତ ସମାନ ହୋଇ ପାରିବ ନାହିଁ । ଉଦାହରଣ ସ୍ୱରୂପ ଯେତେବେଳେ ପ୍ରଧାନ କ୍ୱାଣ୍ଟମ ସଂଖ୍ୟା $n=1, l=0, ml=0$ ହେଲେ ଚୁମ୍ବକୀୟ ସ୍ପିନ କ୍ୱାଣ୍ଟମ ସଂଖ୍ୟା $ms=\frac{1}{2}$ କିମ୍ବା $-\frac{1}{2}$ ହୋଇପାରେ । ତେଣୁ ପ୍ରଥମ କକ୍ଷରେ ଦୁଇଟି ଇଲେକଟ୍ରନ୍ ରହିପାରେ । $n=2$ ହେଲେ, $L=0$ କିମ୍ବା $l=1$ ହେବ । ତେଣୁ ୨ୟ କକ୍ଷ ଦୁଇଟି ଉପକକ୍ଷ (Sub shell) କୁ ନେଇ ଗଠିତ । ଗୋଟିଏ କକ୍ଷର କେତୋଟି ଉପକକ୍ଷ ରହିପାରେ, ତାହା ସେହି କକ୍ଷର ପ୍ରଧାନ କ୍ୱାଣ୍ଟମ ସଂଖ୍ୟା ଉପରେ ନିର୍ଭର କରେ । କୌଣସି କକ୍ଷର ପ୍ରଥମ $(l=0)$, ଦ୍ୱିତୀୟ $(l=1)$ ଓ ତୃତୀୟ $(l=2)$ ପ୍ରଭୃତି ଉପକକ୍ଷକୁ s, p, d, f ଉପକକ୍ଷ କୁହାଯାଏ । ପାଉଲି ଅପବର୍ଜନ ନିୟମାନୁସାରେ କେଉଁ କକ୍ଷ ଓ ଉପକକ୍ଷରେ କେତୋଟି କରି ଇଲେକଟ୍ରନ୍ ରହିବ ତାହା ତାଲିକା (5.1)ରେ ଦିଆ ଯାଇଅଛି । ଏଥିରୁ ଜଣାଯାଏ ଯେ n କକ୍ଷର ଇଲେକଟ୍ରନ୍ ସଂଖ୍ୟା $2n^2$ ।

ତାଲିକା—(5.1)

କକ୍ଷ	ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ୍‌ର କ୍ୱାଣ୍ଟମ ସଂଖ୍ୟା				ବିଭିନ୍ନ ଉପକକ୍ଷରେ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ୍ ସଂଖ୍ୟା					କକ୍ଷର ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ୍ ସଂଖ୍ୟା
	n	l	m_l	m_s	s	p	d	f		
1	1	0	0	$\frac{1}{2}$	2					2
	1	0	0	$-\frac{1}{2}$						
2	2	0	0	$\frac{1}{2}$	2	6				8
	2	0	0	$-\frac{1}{2}$						
	2	1	−1	$\frac{1}{2}$						
	2	1	−1	$-\frac{1}{2}$						
	2	1	0	$\frac{1}{2}$						
	2	1	0	$-\frac{1}{2}$						
	2	1	+1	$\frac{1}{2}$						
	2	1	+1	$-\frac{1}{2}$						
3					2	6	10			18
4					2	6	10	14		32

୭ । ଧାତୁରେ ପରିବହନ (**Conduction in metals**)

ଧାତୁଗୁଡ଼ିକର ବୈଦ୍ୟୁତିକ ଓ ତାପୀୟ ଧର୍ମ ବୁଝାଇବା ପାଇଁ ଡ୍ରୁଡ ଓ ଲରେଞ୍ଜ (Drude and Lorenz) ପ୍ରତ୍ୟେକ ଧାତୁ ମଧ୍ୟରେ କେତେଗୁଡ଼ିଏ ମୁକ୍ତ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ୍ (Free electron) ଇତସ୍ତତଃ ଭାବରେ ବୁଲୁଥିବାର କଳ୍ପନା କରିଥିଲେ ।

ଧାତୁର ଦୁଇ ପାର୍ଶ୍ୱରେ ବିଭବାନ୍ତର (Potential difference) ପ୍ରୟୋଗ କରାଗଲେ ଏହି ଇଲେକଟ୍ରନଗୁଡ଼ିକ ଏକ ପାର୍ଶ୍ୱରୁ ଅନ୍ୟ ପାର୍ଶ୍ୱକୁ ଗତି କରନ୍ତି । ଫଳରେ ସୁପରିବାହୀ ଦେଇ ବିଦ୍ୟୁତ ପ୍ରବାହ ହୁଏ । କିନ୍ତୁ ସୁପରିବାହୀର ଏକ ପାର୍ଶ୍ୱକୁ ଗରମ କରାଗଲେ ସେହି ପାର୍ଶ୍ୱରେ ଥିବା ଇଲେକଟ୍ରନ୍‌ଗୁଡ଼ିକର ଇତସ୍ତତଃ (Random) ଗତି ବୃଦ୍ଧି ପାଏ ।

ଏହି ଇଲେକଟ୍ରନ୍‌ଗୁଡ଼ିକର ବର୍ଦ୍ଧିତ ଇତସ୍ତତଃ ଗତି ସଂଘଟନ (Collision) ଦ୍ୱାରା ତାର ପଡ଼ୋଶୀ ଇଲେକଟ୍ରନ୍‌ଗୁଡ଼ିକର ଇତସ୍ତତଃ ଗତିକୁ ବଢ଼ାଇ ଥାଏ । ମାତ୍ର ପଡ଼ୋଶୀ ଇଲେକଟ୍ରନ୍‌ଗୁଡ଼ିକର ଇତସ୍ତତଃ ଗତି ପ୍ରଥମ ଇଲେକଟ୍ରନଗୁଡ଼ିକର ଇତସ୍ତତଃ ଗତିଠାରୁ ଅପେକ୍ଷାକୃତ କମ୍ ହୋଇଥାଏ । ଏହିପରିଭାବେ ଅନ୍ୟ ପାର୍ଶ୍ୱରେ ଥିବା ଇଲେକଟ୍ରନ୍‌ଗୁଡ଼ିକର ଇତସ୍ତତଃ ଗତି କ୍ରମେ ବୃଦ୍ଧିପାଏ ଓ ସେହି ପାର୍ଶ୍ୱଟି ଗରମ ହୋଇଯାଏ । ଏହି ବର୍ଦ୍ଧିତ ଇତସ୍ତତଃ ଗତିର ସ୍ଥାନାନ୍ତର ଯୋଗୁ ତାପ ପରିବହନ ହୁଏ ।

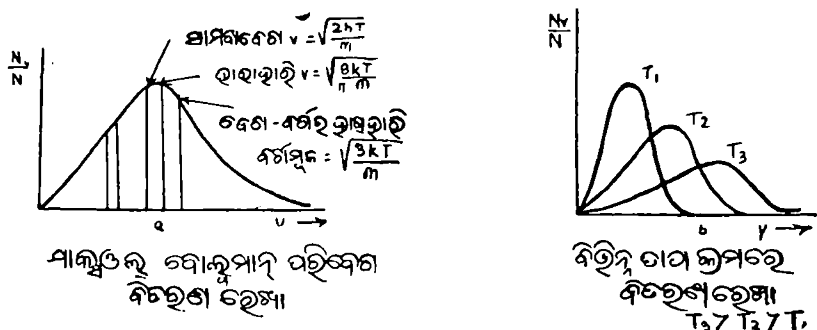
ସଂସ୍ଥାପିତ ତତ୍ତ୍ୱାନୁସାରେ ଇଲେକଟ୍ରନ୍‌ର ଗତି ମାକ୍ସୱେଲ ବୋଲ୍‌ଜମାନ ପରିବେଗ ବିତରଣ (Maxwell Boltzman Velocity distribution) ନିୟମାନୁସାରେ ନିର୍ଦ୍ଧାରିତ ହୋଇଥାଏ । ସେହି ନିୟମାନୁସାରେ N ସଂଖ୍ୟକ ଇଲେକଟ୍ରନ୍ ମଧ୍ୟରୁ ଯଦି N_v ସଂଖ୍ୟକ ଇଲେକଟ୍ରନ୍‌ର ବେଗ v ହୁଏ, ତେବେ

$$\frac{N_v}{N}=\frac{4}{\sqrt{\pi}}\left(\frac{m}{2RT}\right)^{\frac{3}{2}} v^2 e - \frac{mv^2}{2KT} \qquad (5{\cdot}10)$$

ଆମେ ଯଦି $\frac{N_v}{N}$ ଓ v ମଧ୍ୟରେ ଗ୍ରାଫ୍ କାଟୁ (ଚିତ୍ର 5.3), ତେବେ ABCD କ୍ଷେତ୍ରର କ୍ଷେତ୍ରଫଳ$=\frac{N_v}{N}(v_2-v_1)$ । ଯେଉଁଠାରେ N_v=ଯେଉଁ ଇଲେକଟ୍ରନ୍‌ଗୁଡ଼ିକର ବେଗ v_1 ଓ v_2 ମଧ୍ୟରେ ଥାଏ ।

ଗତି ଶକ୍ତି ବେଗର ବର୍ଗ ଉପରେ ନିର୍ଭର କରେ, ତେଣୁ ହାରାହାରି ଗତି ଶକ୍ତି ବେଗର ବର୍ଗର ହାରାହାରି ପରିମାଣ ଉପରେ ନିର୍ଭର କରେ । ଏହାର ବର୍ଗମୂଳକୁ ବେଗ-ବର୍ଗ-ମାଧ୍ୟର ମୂଳ (root-mean square speed) କହନ୍ତି । ତେଣୁ ଏହାର ପରିମାଣ ତାପକ୍ରମ (Temperature) ଉପରେ ନିର୍ଭର କରେ । ମାକ୍ସୱେଲଙ୍କ ବିତରଣ ରେଖାରୁ (Maxwell distribution Curve) ଜଣାଯାଏ

ତାପକ୍ରମ ବଢ଼ିଲେ ବିତରଣ ରେଖା ଚେପଟା ହୋଇଯାଏ ଓ ଶୀର୍ଷତମ ବିନ୍ଦୁ ଉଚ୍ଚତର ବେଗ ଅଡ଼କୁ ଘୁଞ୍ଚିଯାଏ । (ଚିତ୍ର (5.3))



ମାକ୍ସୱେଲ୍ ବୋଲ୍ଜମାନ୍ ପରିବେଗ ବିତରଣ ରେଖା

ବିଭିନ୍ନ ତାପ କ୍ରମରେ ବିତରଣ ରେଖା $T_3 > T_2 > T_1$

ଚିତ୍ର (5.3)

ସଂସ୍ଥାପିତ ତତ୍ତ୍ୱାନୁସାରେ ଓ୍ୟାଇଡମାନ ଏବଂ ଫ୍ରାଞ୍ଜ୍ (Weidman and Franz) ସୂଚାଇଲେ ଯେ କୌଣସି ଧାତୁର ବୈଦ୍ୟୁତିକ (electrical) ଓ ତାପୀୟ (Thermal) ପରିବାହିତା (Conductivity) ର ଅନୁପାତ ଏକ ଧ୍ରୁବାଙ୍କ ଅଟେ । ପ୍ଲାଟିନମ ପ୍ରଭୃତି କେତେକ ଧାତୁ ପାଇଁ ଏହି ଧ୍ରୁବାଙ୍କର ତାତ୍ତ୍ୱିକ ପରିମାଣ ପରୀକ୍ଷାରୁ ମିଳୁଥିବା ପରିମାଣ (experimental value) ସହିତ ସମାନ । କିନ୍ତୁ ସଂସ୍ଥାପିତ ତତ୍ତ୍ୱ ଦ୍ୱାରା ନିମ୍ନଲିଖିତ କେତୋଟି ଭୌତିକ ଘଟଣା ବୁଝି ହେଲା ନାହିଁ ।

(1) ଏକ କ୍ରିଷ୍ଟାଲର ବିଶିଷ୍ଟ ତାପ (Specific heat) ର ପରିମାଣ $\frac{3}{2}$ R । କିନ୍ତୁ ପରୀକ୍ଷାରୁ ଜଣାଗଲା ଯେ ତାପକ୍ରମ କମିବା ସଙ୍ଗେ ସଙ୍ଗେ ବିଶିଷ୍ଟ ତାପ କ୍ରମେ କମିଯାଏ ।

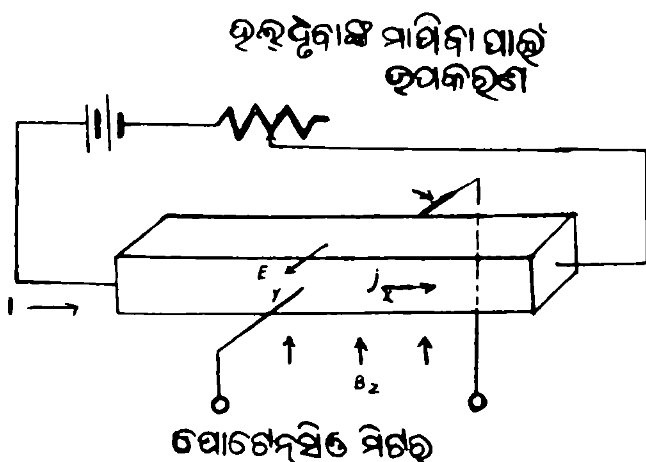
(2) ବିଭିନ୍ନ ଧାତୁର ବିଭିନ୍ନ ବୈଦ୍ୟୁତିକ ପରିବାହିତାର କାରଣ ବୁଝା ଯାଇ ପାରିଲା ନାହିଁ ।

(3) ହଲଙ୍କ ପ୍ରଭାବ (Hall effect) ରୁ ମିଳୁଥିବା ପରୀକ୍ଷା ଲବ୍ଧ ସତ୍ୟକୁ ବୁଝା ଯାଇ ପାରିଲା ନାହିଁ ।

୭ । ହଲଙ୍କ ପ୍ରଭାବ (**Hall effect**)

ବିଦ୍ୟୁତ ପ୍ରବାହିତ ଏକ ସୁପରିବାହୀକୁ ଯଦି ଏକ ଚୁମ୍ବକ କ୍ଷେତ୍ର ପ୍ରତି ଲମ୍ବ ଭାବରେ ରଖାଯାଏ, ତେବେ ସୁପରିବାହୀର ଦୁଇ ପାର୍ଶ୍ୱରେ ବିଦ୍ୟୁତ

କ୍ଷେତ୍ର ସୃଷ୍ଟି ହେବ । ଏହି ବିଦ୍ୟୁତ କ୍ଷେତ୍ର (Electric Field) ଚୁମ୍ବକ କ୍ଷେତ୍ର ପ୍ରତି ଓ ବିଦ୍ୟୁତ ସ୍ରୋତ (electric current) ପ୍ରତି ଲମ୍ବ ହେବ । ନିମ୍ନ ଚିତ୍ରରେ (ଚିତ୍ର (5.4)) ସୁପରିବାହୀ ମଧ୍ୟ ଦେଇ x ଦିଗରେ ବିଦ୍ୟୁତ ପ୍ରବାହିତ ହେଉଛି । z ଦିଗରେ ଚୁମ୍ବକ କ୍ଷେତ୍ର ପ୍ରୟୋଗ କରା ଯାଇଛି ଏବଂ y ଦିଗରେ ବିଦ୍ୟୁତ କ୍ଷେତ୍ର ସୃଷ୍ଟି ହେଉଅଛି । ଆମେ ଜାଣୁ ଗତିଶୀଳ ଚାର୍ଜ କଣିକା ଚୁମ୍ବକ କ୍ଷେତ୍ର ମଧ୍ୟ ଦେଇ ଗତିକଲେ ତାର ଗତି ପଥର ପରିବର୍ତ୍ତନ ହୁଏ । ଚାର୍ଜ କଣିକାଟି ଚୁମ୍ବକ କ୍ଷେତ୍ର ଓ ତାର ଗତି ପଥର ଦିଗପ୍ରତି ସମକୋଣ କରି ଗତି କରେ । ତେଣୁ ମୁକ୍ତ ଇଲେକଟ୍ରନ୍‌ଗୁଡ଼ିକ y ଦିଗକୁ ଗତି କରନ୍ତି ଯାହା ଫଳରେ ସୁପରିବାହୀର ଏକ ପାର୍ଶ୍ୱରେ ଇଲେକଟ୍ରନ୍ ସଂଖ୍ୟା ବଢ଼ିଯାଏ । ତେଣୁ ଏକ ବିଦ୍ୟୁତ କ୍ଷେତ୍ର ସୃଷ୍ଟିହୁଏ ।



ଚିତ୍ର (5.4)

ଯଦି ଇଲେକଟ୍ରନ୍‌ର ପରିବେଗ v ହୁଏ ଓ F_b ବଳ ଦ୍ୱାରା ଏହାର ଗତି ପଥର ପରିବର୍ତ୍ତନ ହୁଏ, ତେବେ

$$F_b = e(\vec{v} \times \vec{B}) = evB \tag{5·11}$$

$$E_H = -\frac{F}{e} = -vB$$

$$= -\frac{1}{ne} j\,B \tag{5·12}$$

ଯେଉଁଠାରେ E_H = ସୃଷ୍ଟି ହେଉଥିବା ବିଦ୍ୟୁତ କ୍ଷେତ୍ରର ପରିମାଣ ଓ $j = nev$ ।

ଏହିଥିରୁ ଜଣାଗଲା ଏକ ନିର୍ଦ୍ଦିଷ୍ଟ ବିଦ୍ୟୁତ ପ୍ରବାହ ପାଇଁ ହଲ ବିଦ୍ୟୁତ କ୍ଷେତ୍ର ଚୁମ୍ବକ କ୍ଷେତ୍ର ପ୍ରତି ଅନୁପାତୀ ଏବଂ $R_H = \frac{1}{ne}$ କୁ ହଲ ଧ୍ରୁବାଙ୍କ କହନ୍ତି । ପରୀକ୍ଷା ଦ୍ୱାରା ହଲ ଧ୍ରୁବାଙ୍କ ମାପି ଧାତୁ ଭିତରେ ଥିବା ମୁକ୍ତ ଇଲେକଟ୍ରନ୍ ସଂଖ୍ୟା ନିର୍ଣ୍ଣୟ କରାଯାଇପାରେ । ଏହି ମୁକ୍ତ ଇଲେକଟ୍ରନ୍ ତତ୍ତ୍ୱରୁ ଜଣାଯାଏ ହଲ ଧ୍ରୁବାଙ୍କ ସବୁବେଳେ ସବୁ ଧାତୁ ପାଇଁ ଏକ ଧନାତ୍ମକ ରାଶି ହେବ । କିନ୍ତୁ ପରୀକ୍ଷାରୁ ଜଣାଯାଏ ଯେ ଏହା ସବୁବେଳେ ସତ୍ୟ ନୁହେଁ । ତେଣୁ ଏହି ତତ୍ତ୍ୱର ପରିବର୍ତ୍ତନ ଦରକାର ।

ଉଦାହରଣ—

କପର ପାଇଁ ପରୀକ୍ଷାଗାର ତାପକ୍ରମରେ ହଲ ଧ୍ରୁବାଙ୍କ ଓ ପ୍ରତିରୋଧର ପରିମାଣ ଯଥାକ୍ରମେ $-5.5\times^{-11}$ (ମି)^3/କୁଲମ୍ବ ଓ 1.72×10^{-8} ସେ:ମି: ହେଲେ, ମୁକ୍ତ ଇଲେକଟ୍ରନ୍ ସଂଖ୍ୟା ଓ ହାରାହାରି ସଂଘଟନ ସମୟ ନିର୍ଣ୍ଣୟ କର ।

ସମୀକରଣ (12) ରୁ ଅମେ ପାଉଁ

$$-5.5\times10^{-11}(\text{ମି})^3/\text{କୁଲମ୍ବ} = \frac{1}{n(-1.6\times10^{-19}\ \text{କୁଲମ୍ବ})}$$

କିମ୍ବା $n=1.1\times10^{23}/(\text{ସେ:ମି:})^3$

ଅମେ ଯଦି ଧରି ନେବା ଯେ ପ୍ରତି ସଂଘଟନ (Collision) ପରେ ଇଲେକଟ୍ରନ୍‌ର ବେଗ ଶୂନ୍ୟ ହୁଏ, ପ୍ରତି ସଂଘଟନ ମଧ୍ୟରେ ସମୟର ବ୍ୟବଧାନ ζ ହୁଏ ଓ ସଂଘଟନ ପୂର୍ବେ ଇଲେକଟ୍ରନ୍‌ର ପରିବେଗ v ହୁଏ, ତେବେ

$$v=\frac{Ee}{m}\zeta$$

$$j=\frac{ne^2E}{m}\zeta$$

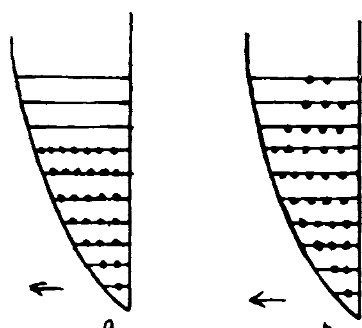
ଏବଂ $\rho=\frac{m}{ne^2\zeta}$

$$\text{କିମ୍ବା } \zeta=\frac{m}{ne^2\rho}=\frac{9.1\times10^{-31}(\text{ଗ୍ରାମ})(\text{ମିଟର})^3}{1.1\times10^{29}\times(1.6\times10^{-19})(\text{କୁଲମ୍ବ})^2\times \times1.72\times10^{-8}(\text{ଓମ୍-ମି})}$$

$=2.0\times10^{-14}$ ସେକେଣ୍ଡ ।

୮। ପରିବହନର ମୁକ୍ତ ଇଲେକଟ୍ରନ୍ କ୍ୱାଣ୍ଟମ ତତ୍ତ୍ୱ (Free electron quantom theory of conduction)

ଫର୍ମି ପ୍ରକାଶ କଲେ ଯେ ମାକ୍ସୱେଲଙ୍କ ବିତରଣ ନିୟମ (Maxwell distribution law) ମୁକ୍ତ ଇଲେକଟ୍ରନ୍ ପାଇଁ ପ୍ରଯୋଜ୍ୟ ନୁହେଁ କାରଣ ପାଉଲି ଅପବର୍ଜନ ନିୟମ (Pauli exclusion Principle) ଅନୁସାରେ ଯେ କୌଣସି ଦୁଇଟି ଇଲେକଟ୍ରନ୍ ସମାନ ଅବସ୍ଥାରେ ରହି ପାରିବେ ନାହିଁ। ଦୁଇଟି ଇଲେକଟ୍ରନ୍‌ର ସ୍ପିନ (Spin) ବିପରୀତ ଦିଗରେ ଥିବା ସମୟରେ ସେମାନଙ୍କର ସଂବେଗ ସମାନ ହୋଇପାରେ। ଏଠାରେ ମନେ ରଖିବାକୁ ହେବ ଯେ ଇଲେକଟ୍ରନ୍‌ର ସଂବେଗ କେତେକ ପରିମାଣର ହୋଇପାରେ। ତାପକ୍ରମ (Temperature) କମିଗଲେ ସଂବେଗର ନିମ୍ନ ସ୍ତରଗୁଡ଼ିକ ଇଲେକଟ୍ରନ୍ ଦ୍ୱାରା ପୂର୍ଣ୍ଣ ହୋଇଯାଏ। ଏଥି ଯୋଗୁ ଶୂନ୍ୟ ତାପକ୍ରମରେ ମଧ୍ୟ ଇଲେକଟ୍ରନ୍‌ଗୁଡ଼ିକର ସଂବେଗ ଶୂନ୍ୟ ହୁଏ ନାହିଁ। ତାପକ୍ରମ ବଢ଼ିଲେ ଉପର ସଂବେଗ ସ୍ତରରେ ଥିବା ଇଲେକ-ଟ୍ରନ୍‌ଗୁଡ଼ିକ ତାପୀୟ ଶକ୍ତି ଗ୍ରହଣ କରି ଉଚ୍ଚତର ସଂବେଗ ସ୍ତରକୁ ଯାଆନ୍ତି (ଚିତ୍ର (5.5))। ଏହି ପ୍ରକାର ବିତରଣ ନିୟମକୁ ଫର୍ମି ବିତରଣ ନିୟମ କହନ୍ତି ଓ ଏହା ନିମ୍ନମତେ ପ୍ରକାଶ କରାଯାଇପାରେ :



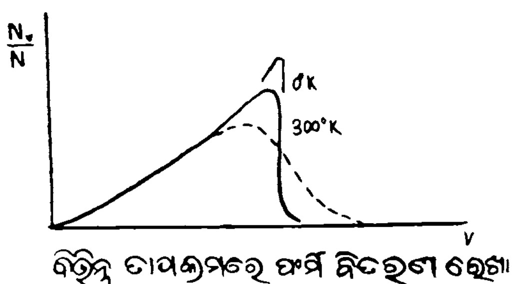
(a) ଶୂନ୍ୟ ତାପକ୍ରମରେ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ଦ୍ୱାରା ପୂର୍ଣ୍ଣ ହୋଇଥିବା କେତୋଟି ଶକ୍ତି ସ୍ତର
(b) ବୃଦ୍ଧି ତାପକ୍ରମରେ ଉଚ୍ଚ ଶକ୍ତି ସ୍ତରକୁ ଯାଇଥିବା କେତେକ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ୍

ଚିତ୍ର (5.5)

$$\frac{N_v}{N} = \frac{8\pi m^3}{h^3} \frac{v^2}{e^{\left(\frac{mv^2}{2} - E_m\right)/KT} + 1}$$

ଯେଉଁଠାରେ E_m= ଶୂନ ଡିଗ୍ରୀ ତାପକ୍ରମରେ ଇଲେକଟ୍ରନ୍‌ର ଉଚ୍ଚତମ ଶକ୍ତି। ବିଭିନ୍ନ ତାପକ୍ରମରେ ଫର୍ମି ବିତରଣ ରେଖା (ଚିତ୍ର (5.6) ରେ) ଟଣା

ଯାଇଅଛି । ଏଥିରୁ ଜଣାଯାଏ ଉଚ୍ଚତର ତାପକ୍ରମରେ ଫର୍ମି ବିତରଣ ରେଖା, ମାକ୍ସୱେଲ ବିତରଣ ରେଖା ସହିତ ସମାନ ହୋଇଯାଏ ।



ବିଭିନ୍ନ ତାପକ୍ରମରେ ଫର୍ମି ବିତରଣ ରେଖା

ଚିତ୍ର (5.6)

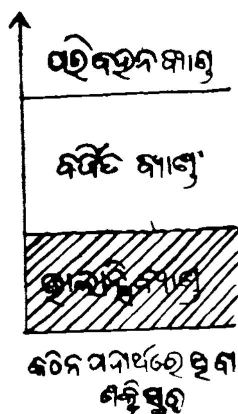
ଫର୍ମି ବିତରଣ ନିୟମ ସାହାଯ୍ୟରେ ତାପକ୍ରମ କମିବା ସଙ୍ଗେ ସଙ୍ଗେ କ୍ରିଷ୍ଟାଲର ବିଶିଷ୍ଟ ତାପ (specific heat) ହ୍ରାସର କାରଣ ବୁଝି ହୁଏ । ଫର୍ମି ତତ୍ତ୍ୱାନୁସାରେ ତାପକ୍ରମ ବଢ଼ିବା ପାଇଁ କ୍ରିଷ୍ଟାଲର ମାତ୍ର କେତେକ ଇଲେକଟ୍ରନ୍ ଭାଗ ନିଅନ୍ତି । ଅବଶିଷ୍ଟ ଇଲେକଟ୍ରନ୍ ନିମ୍ନତର ସବେଗ ସ୍ତରରେ ଆବଦ୍ଧ ହୋଇ ଥାଆନ୍ତି । ସେଥି ଯୋଗୁ ଯେ କୌଣସି ତାପକ୍ରମରେ କ୍ରିଷ୍ଟାଲ ଭିତରେ ଥିବା ସମସ୍ତ ଇଲେକଟ୍ରନ୍ ବିଦ୍ୟୁତ ପରିବହନରେ ଭାଗ ନେଇ ପାରନ୍ତି ନାହିଁ । ତେଣୁ ବିଭିନ୍ନ ଧାତୁର ବିଦ୍ୟୁତ ପରିବାହିତା ଭିନ୍ନ ହୋଇଥାଏ ।

୯ । ବ୍ୟାଣ୍ଡ ତତ୍ତ୍ୱ (Band theory)

ଆମେ ଆଗରୁ ଆଲୋଚନା କରିଛୁ ଯେ ପ୍ରତ୍ୟେକ ପରମାଣୁର ବିଭିନ୍ନ ଶକ୍ତି ସ୍ତର ଥାଏ । ପରମାଣୁର (Valancy) ଇଲେକଟ୍ରନ୍‌ଟି ବିଭିନ୍ନ ଶକ୍ତି ସ୍ତରରେ ଅବସ୍ଥାନ କଲେ ପରମାଣୁର ଶକ୍ତି ବିଭିନ୍ନ ହୋଇଥାଏ । ପରମାଣୁକୁ ଏକ ନିର୍ଦ୍ଦିଷ୍ଟ ପରିମାଣର ଶକ୍ତି ପ୍ରଦାନ କଲେ, ପରମାଣୁର ଇଲେକଟ୍ରନ୍‌ଟି ଏକ ନିର୍ଦ୍ଦିଷ୍ଟ ଶକ୍ତି ସ୍ତରରୁ ଯାଇ ଅନ୍ୟ ଏକ ନିର୍ଦ୍ଦିଷ୍ଟ ଶକ୍ତି ସ୍ତରରେ ଅବସ୍ଥାନ କରେ । ଇଲେକଟ୍ରନ୍‌ଟି କୌଣସି ଏକ ଉଚ୍ଚ ଶକ୍ତି ସ୍ତରରୁ ନିମ୍ନ ଶକ୍ତି ସ୍ତରକୁ ଫେରି ଆସିଲେ ତାହା ନିର୍ଦ୍ଦିଷ୍ଟ ପରିମାଣର ଆଲୋକ ଶକ୍ତି ବିକିରଣ କରିଥାଏ । ସାଧାରଣତଃ କୌଣସି ପଦାର୍ଥର ଗ୍ୟାସୀୟ ଅବସ୍ଥାରେ ପରମାଣୁଗୁଡ଼ିକର ପରସ୍ପର-ଠାରୁ ଦୂରତା ବେଶୀ ଥିବାରୁ ଗୋଟିଏ ପରମାଣୁରେ ଥିବା ଇଲେକଟ୍ରନ୍‌ର

ପ୍ରଭାବ ଅନ୍ୟ ପରମାଣୁର ଇଲେକଟ୍ରନ୍ ଉପରେ ପଡ଼େ ନାହିଁ । କିନ୍ତୁ କଠିନ ପଦାର୍ଥରେ ପରମାଣୁଗୁଡ଼ିକ ଅତି ନିକଟରେ ଥିବାରୁ ସେଗୁଡ଼ିକର ବନ୍ଧନ ଶକ୍ତିର ପ୍ରଭାବ ଇଲେକଟ୍ରନ୍ ଉପରେ ପଡ଼େ । ଫଳରେ ପରମାଣୁର କେତେକ ନୂତନ ଶକ୍ତି ସ୍ତର ସୃଷ୍ଟି ହୋଇଥାଏ ଓ କେତେକ ଶକ୍ତି ସ୍ତର ମଧ୍ୟ ନାଶ ହୋଇଥାଏ । ପରମାଣୁର କେତେକ ନିର୍ଦ୍ଦିଷ୍ଟ ଶକ୍ତି ସ୍ତର ସମୂହକୁ ଶକ୍ତି ବ୍ୟାଣ୍ଡ (energy bands) କହନ୍ତି । ଏହି ଶକ୍ତି ବ୍ୟାଣ୍ଡ ମଧ୍ୟରେ ବହୁ ସଂଖ୍ୟକ ଶକ୍ତି ସ୍ତର ଥାଏ ।

ସାଧାରଣତଃ କଠିନ ପଦାର୍ଥରେ ଅନେକଗୁଡ଼ିଏ ଶକ୍ତି ବ୍ୟାଣ୍ଡ (energy bands) ଥାଏ ।



କଠିନ ପଦାର୍ଥରେ ଥିବା ଶକ୍ତି ସ୍ତର

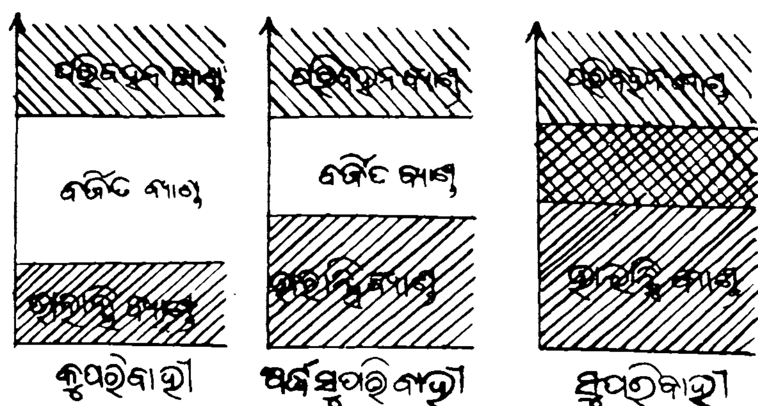
ଚିତ୍ର (5.7)

ଚିତ୍ର (5.7) ରେ କେବଳ ୩ଟି ବ୍ୟାଣ୍ଡର ଚିତ୍ର ଦିଆ ଯାଇଅଛି । ଏହା ବ୍ୟତୀତ ଅଳ୍ପ ଶକ୍ତି ବିଶିଷ୍ଟ ଅନ୍ୟ କେତେଗୁଡ଼ିଏ ଶକ୍ତି ବ୍ୟାଣ୍ଡ ଥାଏ । ଏଠାରେ ସେଗୁଡ଼ିକର ଆବଶ୍ୟକତା ନ ଥିବାରୁ ଚିତ୍ରରେ ଦେଖା ଯାଇ ନାହିଁ ।

ଚିତ୍ରର ଉପରେ ଥିବା ବ୍ୟାଣ୍ଡକୁ ପରିବହନ (conduction) ବ୍ୟାଣ୍ଡ କହନ୍ତି । ଏହି ବ୍ୟାଣ୍ଡରେ ଥିବା ଇଲେକଟ୍ରନ୍‌ଗୁଡ଼ିକ ବାହ୍ୟ ବିଦ୍ୟୁତ କ୍ଷେତ୍ର ଦ୍ୱାରା ସହଜରେ ସ୍ଥାନାନ୍ତରିତ ହୋଇ ପାରନ୍ତି । ଯେତେବେଳେ କୌଣସି ପଦାର୍ଥର ବହୁତଗୁଡ଼ିଏ ଇଲେକଟ୍ରନ୍ ଏହି ବ୍ୟାଣ୍ଡରେ ଥାଆନ୍ତି, ସେହି ପଦାର୍ଥଟି ଏକ ସୁପରିବାହୀ ।

ପରିବହନ ବ୍ୟାଣ୍ଡର ନିମ୍ନରେ ଥିବା ବ୍ୟାଣ୍ଡକୁ ବର୍ଜିତ (Forbidden) ବ୍ୟାଣ୍ଡ କୁହାଯାଏ । ଏହି ବ୍ୟାଣ୍ଡରେ ଇଲେକଟ୍ରନ ରହି ପାରନ୍ତି ନାହିଁ । କିନ୍ତୁ ବର୍ଜିତ ବ୍ୟାଣ୍ଡର ନିମ୍ନରେ ଥିବା ଭାଲନ୍ସି ବ୍ୟାଣ୍ଡରୁ ଇଲେକଟ୍ରନ୍ ବର୍ଜିତ ବ୍ୟାଣ୍ଡକୁ ଅତିକ୍ରମ କରି ପରିବହନ ବ୍ୟାଣ୍ଡକୁ ଯାଇପାରନ୍ତି ଓ ପରିବହନ ବ୍ୟାଣ୍ଡରୁ ଭାଲନ୍ସି ବ୍ୟାଣ୍ଡକୁ ଆସି ପାରନ୍ତି । ଏହି ବର୍ଜିତ ବ୍ୟାଣ୍ଡର ଆକାର କିମ୍ବା ପରିବହନ ଓ ଭାଲନ୍ସି ବ୍ୟାଣ୍ଡର ଦୂରତା ଯୋଗୁ କଠିନ ପଦାର୍ଥଟି ସୁପରିବାହୀ (Conductor), କୁପରିବାହୀ (Insulator) କିମ୍ବା ଅର୍ଦ୍ଧ ସୁପରିବାହୀ (Semi conductor) ହୋଇଥାଏ ଚିତ୍ର ନମ୍ବର (5.8-a) ରେ ବର୍ଜିତ ବ୍ୟାଣ୍ଡଟି ଓସାରିଆ

ହୋଇ ଥିବାରୁ ଭାଲନ୍ସି ବ୍ୟାଣ୍ଡରୁ ଇଲେକଟ୍ରନ୍ ପରିବହନ ବ୍ୟାଣ୍ଡକୁ ନେବା ପାଇଁ ଅଧିକ ଶକ୍ତି ଦରକାର ହୋଇଥାଏ, ତେଣୁ ତାହା ଗୋଟିଏ କୁପରିବାହୀ । ଗୋଟିଏ ଅର୍ଦ୍ଧ ସୁପରିବାହୀରେ ବର୍ଜିତ ବ୍ୟାଣ୍ଡର ଓସାର କମ୍ (ଚିତ୍ର (5.8-b))



ଚିତ୍ର (5·8)

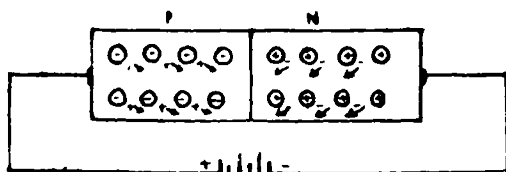
ହୋଇଥିବାରୁ ଅପେକ୍ଷାକୃତ କମ୍ ଶକ୍ତି ଦ୍ୱାରା ଇଲେକଟ୍ରନ୍ ଭାଲନ୍ସି ବ୍ୟାଣ୍ଡରୁ ପରିବହନ ବ୍ୟାଣ୍ଡକୁ ଯାଇପାରେ । କିନ୍ତୁ ଗୋଟିଏ ସୁପରିବାହୀରେ ବର୍ଜିତ ବ୍ୟାଣ୍ଡ ନ ଥାଏ କିମ୍ବା (ଚିତ୍ର (5.8-c)) ଭାଲନ୍ସି ବ୍ୟାଣ୍ଡ ସରିବା ପୂର୍ବରୁ ପରିବହନ ବ୍ୟାଣ୍ଡ ଆରମ୍ଭ ହୋଇ ଯାଇଥାଏ । ତେଣୁ ବିଦ୍ୟୁତ ଶକ୍ତି ଅତି ସହଜରେ ଗୋଟିଏ ସୁପରିବାହୀ ମଧ୍ୟ ଦେଇ ଯାଇପାରେ ।

୧୦ । ଟ୍ରାନ୍‌ଜିଷ୍ଟରସ (Transistors)

ବର୍ତ୍ତମାନ ରେଡିଓ ଟେଲିଭିଜନ ପ୍ରଭୃତିରେ ଭଲ୍‌ଭ ବଦଳରେ ଟ୍ରାନ୍‌ଜିଷ୍ଟରସ ବ୍ୟବହାର କରାଯାଉଛି । ଟ୍ରାନ୍‌ଜିଷ୍ଟରସ ସାଧାରଣତଃ ଅର୍ଦ୍ଧ ସୁପରିବାହୀ ସାହାଯ୍ୟରେ ତିଆରି ହୋଇଥାଏ । ଜରମେନିୟମ (Germanium) ଗୋଟିଏ ଅର୍ଦ୍ଧ ସୁପରିବାହୀ (Semi conductor) । ଏହା ସହିତ ଖୁବ୍ ଅଳ୍ପ ପରିମାଣର ଏଣ୍ଟିମୋନି (Antimony) ମିଶାଇ ଦେଲେ ଜରମେନିୟମର ପରିବହନ ଶକ୍ତି ବଢ଼ିଯାଏ । କାରଣ ଏଣ୍ଟିମୋନି ମିଶାଇ ଦେବା ଦ୍ୱାରା ଜରମେନିୟମ ଭିତରେ ମୁକ୍ତ ଇଲେକଟ୍ରନ୍‌ର ସଂଖ୍ୟା ବଢ଼ିଯାଏ । କିନ୍ତୁ ଯଦି ଜରମେନିୟମ ସହିତ ଅତି ଅଳ୍ପ ପରିମାଣର ଗ୍ୟାଲିୟମ (Gallium) ମିଶାଇ ଦିଆଯାଏ, ତେବେ ଗ୍ୟାଲିୟମ କିଛି ଇଲେକଟ୍ରନ୍ ଜରମେନିୟମରୁ ନେଇଯାଏ,

ଫଳରେ ଜର୍‌ମେନିୟମରେ ଇଲେକଟ୍ରନ୍‌ର ସ୍ଥାନ ଖାଲି ପଡ଼ିଯାଏ । ତାହାର ତାହା ଏକ ଧନାତ୍ମକ ଚାର୍ଜ ଯୁକ୍ତ ଇଲେକଟ୍ରନ୍ ପରି କାମ କରେ । ଏହାକୁ ଇଲେକଟ୍ରନ୍ ହୋଲ (Electron hole) କହନ୍ତି । ଏହା ସାହାଯ୍ୟରେ ମଧ୍ୟ ବିଦ୍ୟୁତ ଶକ୍ତି ପ୍ରବାହିତ ହୋଇଯାଏ । ପ୍ରଥମ ପ୍ରକାର ଜର୍‌ମେନିୟମକୁ '*n*' ପ୍ରକାର ଓ ଦ୍ୱିତୀୟ ପ୍ରକାରକୁ '*p*' ପ୍ରକାର ଜରମେନିୟମ କୁହାଯାଏ । ଉଭୟ ପ୍ରକାର ଜରମେନିୟମ ମଧ୍ୟ ଦେଇ ବିଦ୍ୟୁତ ପ୍ରବାହ ହୋଇପାରେ ।

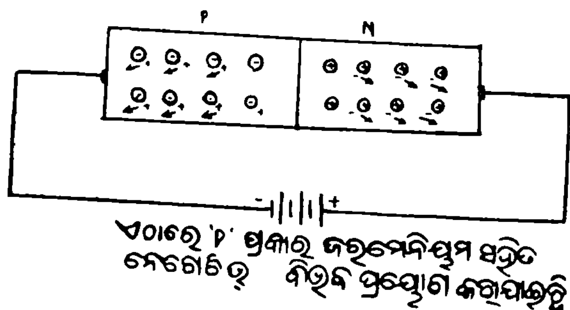
ଯଦି ଏହି ଦୁଇ ପ୍ରକାର ଜର୍‌ମେନିୟମକୁ ଏକାଠି ଯୋଡ଼ି ଦିଆଯାଏ, ତାହାହେଲେ ତାହା ଭିତର ଦେଇ ବିଦ୍ୟୁତ ପ୍ରବାହ ମାତ୍ର ଏକ ନିର୍ଦ୍ଦିଷ୍ଟ ଦିଗରେ ହୋଇପାରେ; କିନ୍ତୁ ବିପରୀତ ଦିଗରେ ହୋଇପାରେ ନାହିଁ । ଯଦି ଚିତ୍ର ନମ୍ବର (5.9) ଅନୁସାରେ ବିଭବାନ୍ତର ପ୍ରୟୋଗ କରାଯାଏ, ତେବେ ବିଦ୍ୟୁତ ପ୍ରବାହ ହେବ । କାରଣ ଇଲେକଟ୍ରନ୍‌ଗୁଡ଼ିକ ନେଗେଟିଭ୍ ଇଲେକଟ୍ରୋଡ଼୍ ଦ୍ୱାରା ବିକର୍ଷିତ ହୋଇ ପଜେଟିଭ୍ ଇଲେକଟ୍ରୋଡ଼୍ ଆଡ଼କୁ ଗତି କରିବ । ସେହିପରି ହୋଲଗୁଡ଼ିକ ପଜେଟିଭ୍ ଇଲେକଟ୍ରୋଡ଼୍ ଦ୍ୱାରା ବିକର୍ଷିତ ହୋଇ ନେଗେଟିଭ୍ ଇଲେକଟ୍ରୋଡ଼୍ ଆଡ଼କୁ ଗତି କରିବ ଓ ବିଦ୍ୟୁତ ପ୍ରବାହ ହେବ । କିନ୍ତୁ ଯଦି ଚିତ୍ର ନମ୍ବର (5.10) ଅନୁସାରେ ବିଭବାନ୍ତର ପ୍ରୟୋଗ କରାଯାଏ, ତେବେ ବିଦ୍ୟୁତ ପ୍ରବାହ ହୁଏ ନାହିଁ । କାରଣ ଇଲେକଟ୍ରନ୍‌ଗୁଡ଼ିକ ପଜେଟିଭ୍ ଇଲେକଟ୍ରୋଡ଼୍ ଅଡ଼କୁ ଓ ହୋଲଗୁଡ଼ିକ ନେଗେଟିଭ୍ ଇଲେକଟ୍ରୋଡ଼୍ ଅଡ଼କୁ ଆକର୍ଷିତ ହୁଅନ୍ତି ଫଳରେ ଜରମେନିୟମର ମଧ୍ୟ ଭାଗଟି ମୁକ୍ତ ଇଲେକଟ୍ରନ୍ କିମ୍ବା ହୋଲ ଶୂନ୍ୟ ହୋଇଯାଏ ଫଳରେ ବିଦ୍ୟୁତ ପ୍ରବାହ ହୋଇପାରେ ନାହିଁ । ତେଣୁ ଏହା ସାହାଯ୍ୟରେ ସହଜରେ ଏ. ସି. (A. C.) କୁ ଡି. ସି. (D. C.) ରେ ପରିଣତ କରାଯାଇପାରେ ।



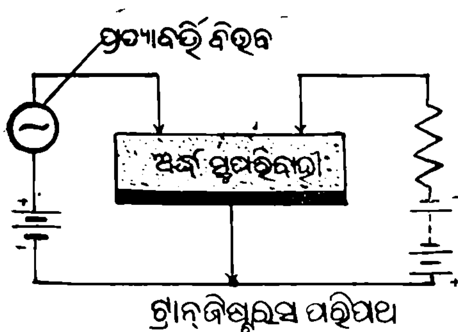
ଏଠାରେ 'P' ପ୍ରକାର ଜର୍‌ମେନିୟମ ସହିତ ପଜେଟିଭ୍ ବିଭବ ପ୍ରୟୋଗ କରାଯାଉଛି ।

ଚିତ୍ର (5.9)

ଗୋଟିଏ *n* ପ୍ରକାର ଜରମେନିୟମକୁ ଚିତ୍ର (5.11) ଅନୁସାରେ ସଂଯୋଗ କରି ତାହାକୁ ଏକ ବିଦ୍ୟୁତ ପରିବର୍ଦ୍ଧକ (Current amplifier) ହିସାବରେ ବ୍ୟବହାର କରିଯାଇପାରେ ।



ଚିତ୍ର (5.10)



ଚିତ୍ର (5.11)

ଏହିପରି ଭାବରେ *p* ଓ *n* ପ୍ରକାର ଜରମେନିୟମକୁ ବିଭିନ୍ନ ପ୍ରକାରରେ ସଂଯୋଗ କରି ତାକୁ ଭିନ୍ନ ଭିନ୍ନ କାମରେ ବ୍ୟବହାର କରିଯାଏ ।

ପ୍ରଶ୍ନମାଳା

1. ଗୋଟିଏ ଇଲେକଟ୍ରନ୍ 0.75*c* ପରିବେଗରେ ଗତିକଲେ ତାହାର ତରଙ୍ଗ ଦୈର୍ଘ୍ୟ କେତେ ହେବ ?
2. ଗୋଟିଏ ଇଲେକଟ୍ରନ୍ 1.25 କି: ଭୋ: ବିଭବାନ୍ତର ଦ୍ୱାରା ତ୍ୱରିତ ହେଲେ, ତାହାର ତରଙ୍ଗ ଦୈର୍ଘ୍ୟ କେତେ ହେବ ? (.346 A)
3. ଗୋଟିଏ କଣିକାର ଗତି ଶକ୍ତି 28.8 ଅର୍ଗ ହେଲେ, ତାହାର ତରଙ୍ଗ ଦୈର୍ଘ୍ୟ କେତେ ? (.049 A)

4. ଗୋଟିଏ ଗତିଶୀଳ କଣିକାର ତରଙ୍ଗ ଦୈର୍ଘ୍ୟ 1 A ହେଲେ, ତାହାର ଗତି ଶକ୍ତି ଅର୍ଗ ଓ ଇ: ଭୋ: ରେ ପ୍ରକାଶ କର । (19.86 ଅର୍ଗ)
5. କାହିଁକି କ୍ଷୁଦ୍ର କଣିକାଗୁଡ଼ିକ ତରଙ୍ଗ ପରି କାର୍ଯ୍ୟ କରନ୍ତି ?
6. ବେଳେବେଳେ ପଦାର୍ଥ ତରଙ୍ଗ ପରି ଓ ତରଙ୍ଗ କଣିକା ପରି କାର୍ଯ୍ୟ କରେ । ତେବେ କେଉଁ ପରିସ୍ଥିତିରେ ପଦାର୍ଥ ଓ ତରଙ୍ଗ ବିପରୀତଭାବେ କାର୍ଯ୍ୟ କରେ ତାହା ବିପରି ଜାଣିବ ?
7. ଗୋଟିଏ କଣିକାର ଗତି ଶକ୍ତି 10 ମି: ଇ: ଭୋ: ହେଲେ, ତାହାର ତରଙ୍ଗ ଦୈର୍ଘ୍ୟ କେତେ ?
8. ଗୋଟିଏ କଣିକାର ଓଜନ 0.5×10^{-6} ଗ୍ରାମ୍ ହେଲେ ଓ କଣିକାର ବେଗ 2.0 ସେ ମି /ସେକେଣ୍ଡ ହେଲେ, ତାହାର ତରଙ୍ଗ ଦୈର୍ଘ୍ୟ କେତେ ?
9. ଏକ ହାଇଡ୍ରୋଜେନ ପୂର୍ଣ୍ଣ ପାତ୍ର 20.C ତାପକ୍ରମରେ ରହିଲେ ପ୍ରତ୍ୟେକ ହାଇଡ୍ରୋଜେନ ପରମାଣୁର ହାରାହାରି ତରଙ୍ଗ ଦୈର୍ଘ୍ୟ କେତେ ? (1.5 A)
10. 0.4 A ତରଙ୍ଗ ଦୈର୍ଘ୍ୟ ବିଶିଷ୍ଟ ଇଲେକଟ୍ରନ୍ ପାଇବା ପାଇଁ କେତେ ଭୋଲ୍ଟର ବିଭବ ଦରକାର ? (960 ଭୋଲ୍ଟ)
11. ସାଧାରଣତଃ ଗୋଟିଏ ଇଲେକଟ୍ରନ୍ ମାଇକ୍ରୋସ୍କୋପ ଦ୍ୱାରା ଏକ ପରମାଣୁକୁ ଦେଖିବା ପାଇଁ 1 A ବିଶିଷ୍ଟ ତରଙ୍ଗ ଦୈର୍ଘ୍ୟର ଇଲେକଟ୍ରନ ତରଙ୍ଗ ଦରକାର ହୁଏ, ତେବେ :
   (a) ଦରକାର ହେଉଥିବା ଇଲେକଟ୍ରନ୍‌ର ସଂଳଗ୍ନ ଶକ୍ତି କେତେ ?
   (b) ସାଧାରଣ ମାଇକ୍ରୋସ୍କୋପରେ ଦରକାର ହେଉଥିବା ଫୋଟନର ସଂଳଗ୍ନ ଶକ୍ତି କେତେ ?
   (c) କେଉଁ ମାଇକ୍ରୋସ୍କୋପ ସାହାଯ୍ୟରେ ପରମାଣୁକୁ ଦେଖିବା ବେଶୀ ସମ୍ଭବ ଓ କାହିଁକି ?
12. ବୈଦ୍ୟୁତିକ ପ୍ରତିରୋଧ (electrical resistance) ର କାରଣ କ'ଣ ?
13. ତାପକ୍ରମର ପରିବର୍ତ୍ତନ ହେଲେ ସୁପରିବାହୀର ନା ଅର୍ଦ୍ଧ ସୁପରିବାହୀ (Semi conductor) କାହାର ବୈଦ୍ୟୁତିକ ପ୍ରତିରୋଧର ଯଥେଷ୍ଟ ପରିବର୍ତ୍ତନ ହୁଏ ଏବଂ କାହିଁକି ?

14. ଗୋଟିଏ କ୍ରିଷ୍ଟାଲର ନ୍ୟୁକ୍ଲିୟସ ସ୍ତରଗୁଡ଼ିକର ଦୂରତା 1.15 A । ଯଦି ଏକ ନ୍ୟୁଟ୍ରନ୍ ଗୁଚ୍ଛ 52° କୋଣ କରି ପ୍ରତିଫଳିତ ହୁଅନ୍ତି, ତେବେ ପ୍ରଥମ ପ୍ରକାର ପ୍ରତିଫଳନ (First order reflection) ପାଇଁ ନ୍ୟୁଟ୍ରନ୍ ଗୁଚ୍ଛର ଗତି ଶକ୍ତି କେତେ ? (0.025 ଇ: ଭୋ:)

15. 2.0×10^{-13} ସେ·ମି: ଦୂରତା ମଧ୍ୟରେ ଅବଦ୍ଧ ହୋଇଥିବା ଗୋଟିଏ ନ୍ୟୁଟ୍ରନ୍ ସର୍ବନିମ୍ନ ଶକ୍ତି ସ୍ତରରେ ଥିବା ସମୟରେ ତାର ଗତି ଶକ୍ତି କେତେ ? (51 ମି: ଇ: ଭୋ:)

16. ମନେକର ଗୋଟିଏ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ୍ 60×10^{-7} ସେ:ମି: ଦୂରରେ ଥିବା ଦୃଢ଼ ପ୍ରାଚୀର ଦ୍ୱାରା ଅବଦ୍ଧ ହୋଇଅଛି, ତାହାହେଲେ ସର୍ବନିମ୍ନ ତିନୋଟି ଶକ୍ତି ସ୍ତରରେ ଥିବା ସମୟରେ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ୍‌ର ଶକ୍ତି କେତେ ?

17. 2×10^{-6} ଗ୍ରାମ୍ ଓଜନର ଧୂଳି କଣା 1. ମି:ମି: ଦୂରରେ ଥିବା ଦୁଇଟି ପ୍ରାଚୀର ମଧ୍ୟରେ 1×10^{-4} ସେ:ମି:/ସେକେଣ୍ଡ ବେଗରେ ଗତି କରୁଅଛି । ତେବେ ତାହାର ଗତିର କ୍ୱାଣ୍ଟମ ସଂଖ୍ୟା କେତେ ?

18. 10 A ଦୂରରେ ଥିବା ଦୁଇଟି ଦୃଢ଼ ପ୍ରାଚୀର ମଧ୍ୟରେ ଗୋଟିଏ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ୍ ଅବଦ୍ଧ କରିବାକୁ ହେଲେ, ଦୃଢ଼ ପ୍ରାଚୀରର ଉଚ୍ଚତା କେତେ ?

19. ପାଉଲି ଅପବର୍ଜନ ନିୟମ (Pauli exclusion principle) ବ୍ୟବହାର କରି ପ୍ରକାଶ କର ଯେ ସପ୍ତମ କକ୍ଷର ଦ୍ୱିତୀୟ ଉପକକ୍ଷରେ କେତୋଟି ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ୍ ରହିବ ?

20. ସୋଡିୟମର ହଲ ଧ୍ରୁବାଙ୍କ—$2.5\times10^{-10}\ \frac{(\text{ମି})^3}{\text{କୁଲମ୍ବ}}$ ଓ ପ୍ରତିରୋଧ 4.3×10^{-8} ଓମ୍-ମିଟର ହେଲେ, ମୁକ୍ତ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ୍ ସଂଖ୍ୟା ଓ ହରାହାରି ସଂଘଟନ ସମୟ ନିର୍ଣ୍ଣୟ କର ।

(2.5×10^{22}/(ସେ:ମି:)^3 ; 10^{-14} ସେକେଣ୍ଡ)

ଷଷ୍ଠ ଅଧ୍ୟାୟ

ନଉକ୍ଲିୟାର ପଦାର୍ଥ ବିଜ୍ଞାନ

(Nuclear Physics)

ପରମାଣୁ ଗଠନର ଉଦ୍‌ଭାବନ ପରେ ବୈଜ୍ଞାନିକମାନେ ନିଉକ୍ଲିୟସର ଗଠନ ସମ୍ବନ୍ଧରେ ପ୍ରକୃତ ତଥ୍ୟ ପାଇବା ପାଇଁ ଚେଷ୍ଟା କଲେ । 1896 ମସିହାରେ ତେଜସ୍କ୍ରିୟ ପରମାଣୁର ଉଦ୍‌ଭାବନ ହେଲା । 1919 ମସିହାରେ ପ୍ରଥମେ ରଦରଫୋର୍ଡ (Rutherford) ପରୀକ୍ଷାଗାରରେ ଏକ ପରମାଣୁକୁ ଅନ୍ୟ ଏକ ପରମାଣୁରେ ପରିବର୍ତ୍ତନ କରିବାକୁ କ୍ଷମ ହେଲେ । ସେହି ଦିନଠାରୁ ନିଉକ୍ଲିୟାର ପଦାର୍ଥ ବିଜ୍ଞାନ ଉପରେ ନିୟମବଦ୍ଧ ଗବେଷଣା ଆରମ୍ଭ ହେଲା ।

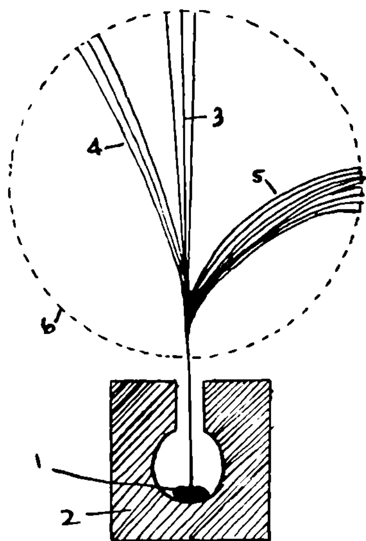
୧ । ତେଜସ୍କ୍ରିୟ ପରମାଣୁ ଓ ତାର ଉଦ୍‌ଭାବନ (Radioactive element and their discovery)

1896 ମସିହାରେ ବେକ୍ୱେରେଲ୍ (Becquerel) ଇଉରାନିୟମ୍ ଲବଣର ପ୍ରତିଦୀପ୍ତି (Fluorescence) ଉପରେ ଗବେଷଣା କରି ଦେଖାଇଲେ ଯେ କେତେକ ଇଉରାନିୟମ ଥିବା ଲବଣରୁ ଏକ ପ୍ରକାର ବିକିରଣ ବାହାରୁଛି ।

ଏହି ବିକିରଣ ସହଜରେ କଳା କାଗଜ ଓ ଟିଣପତ୍ର ଇତ୍ୟାଦି ପଦାର୍ଥ ଭିତର ଦେଇ ଅତିକ୍ରମ କରି ଯାଇପାରେ । ପୁନଶ୍ଚ କ୍ରମଶଃ ପରୀକ୍ଷାରୁ ସେ ଜାଣିଲେ ଯେ ଏହି ବିକିରଣ ଇଉରାନିୟମ୍‌ର ଏକ ବିଶେଷ ଅଭିଲକ୍ଷଣ (characteristic) ଓ ଏହି ବିକିରଣ ଦ୍ୱାରା ଇଉରାନିୟମର ବିଶେଷ କିଛି ପରିବର୍ତ୍ତନ ହୁଏ ନାହିଁ । ଯେଉଁ ମୌଳିକ ପଦାର୍ଥରୁ ଏହି ପ୍ରକାର ବିକିରଣ ହେଉଥାଏ, ତାହାକୁ ତେଜସ୍କ୍ରିୟ ପଦାର୍ଥ (Radioactive element) କୁହାଯାଏ । ପରେ ପରେ ଥୋରିୟମ୍ ନାମକ ଅନ୍ୟ ଗୋଟିଏ ତେଜସ୍କ୍ରିୟ ମୌଳିକ ପଦାର୍ଥର ଉଦ୍‌ଭାବନ ହେଲା । ପେରି ଓ ମାରୀ କ୍ୟୁରୀ (Pierre and Marie Curie) ରେଡିୟମ୍ ଓ ପୋଲୋନିୟମ୍ (Radium and Pollonium) ନାମକ ଦୁଇଟି ତେଜସ୍କ୍ରିୟ ମୌଳିକ ପଦାର୍ଥ ଉଦ୍‌ଭାବନ କଲେ ।

୬। ତେଜସ୍କ୍ରିୟ ପରମାଣୁର ବିକିରଣ (Radiations from radioactive atom)

ତେଜସ୍କ୍ରିୟ ପରମାଣୁଗୁଡ଼ିକ ସାଧାରଣତଃ ତିନି ପ୍ରକାର ରଶ୍ମି ବିକିରଣ କରି ଅନ୍ୟ ପରମାଣୁରେ ପରିଣତ ହୁଅନ୍ତି । ଏହି ତିନି ପ୍ରକାର ରଶ୍ମିକୁ ଆଲଫା (α), ବିଟା (β) ଓ ଗାମା (γ) ବୋଲି କୁହାଯାଏ । ଏଗୁଡ଼ିକର ଧର୍ମ ପରସ୍ପରଠାରୁ ଭିନ୍ନ । ପ୍ରତ୍ୟେକ ରଶ୍ମିକୁ ଚୁମ୍ବକ ଶକ୍ତି ସାହାଯ୍ୟରେ ସହଜରେ ଚିହ୍ନି ହୁଏ । ଆଲ୍‌ଫା ଓ ବିଟା ରଶ୍ମି ଚୁମ୍ବକ କ୍ଷେତ୍ର ଦେଇ ଗଲେ ସେମାନଙ୍କର ଗତି ପଥର ପରିବର୍ତ୍ତନ ହୁଏ ସେମାନେ ଚୁମ୍ବକ କ୍ଷେତ୍ର ଦିଗ ପ୍ରତି ସମକୋଣ କରି ଗତି କରନ୍ତି । କିନ୍ତୁ ଆଲଫା ଓ ବିଟା ରଶ୍ମି ପରସ୍ପରର ବିପରୀତ ଦିଗକୁ ବଙ୍କେଇ ଯାଆନ୍ତି । ସାଧାରଣ ବିଦ୍ୟୁତ୍ ପରୀକ୍ଷାରୁ ଜଣାଯାଏ ଯେ କେବଳ ବିଦ୍ୟୁତ ଯୁକ୍ତ ଅଣୁଗୁଡ଼ିକ ଚୁମ୍ବକ କ୍ଷେତ୍ର ଦେଇ ଗତି କଲେ ସେମାନଙ୍କର ଗତି ପଥର ପରିବର୍ତ୍ତନ ହୁଏ । ତେଣୁ ବିଟା ଓ ଆଲଫା ରଶ୍ମି ଉଭୟ ବିଦ୍ୟୁତ ଯୁକ୍ତ । ଚୁମ୍ବକ କ୍ଷେତ୍ରରେ ସେମାନଙ୍କର ଗତି ପଥରୁ ବିଟା ରଶ୍ମି ଋଣ ବିଦ୍ୟୁତ ଯୁକ୍ତ ଓ ଆଲଫା ରଶ୍ମି ଧନ ବିଦ୍ୟୁତ ଯୁକ୍ତ ବୋଲି ଜଣାଯାଏ ।



1. ତେଜସ୍କ୍ରିୟ ପଦାର୍ଥ
2. ଲେଡ୍ ବାକ୍ସ
3. γ ରଶ୍ମି
4. α ରଶ୍ମି
5. β ରଶ୍ମି
6 ଚୁମ୍ବକ କ୍ଷେତ୍ର

ଚିତ୍ର (6.1)

କିନ୍ତୁ ଚୁମ୍ବକ କ୍ଷେତ୍ର ଦ୍ୱାରା γ ରଶ୍ମିର ଗତି ପଥର କିଛି ପରିବର୍ତ୍ତନ ହୁଏ ନାହିଁ । ପରୀକ୍ଷା ଓ ଆଲୋଚନାରୁ ଜଣାଯାଏ ବିଟା ରଶ୍ମି ଦ୍ରୁତଗାମୀ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ୍, ଆଲ୍‌ଫା ରଶ୍ମି ଗତିଶୀଳ ହିଲିୟମ୍ ନିଉକ୍ଲିୟସ ଓ ଗାମା ରଶ୍ମି ବିଦ୍ୟୁତ ଚୁମ୍ବକୀୟ ତରଙ୍ଗ (electro-magnetic waves) ବ୍ୟତୀତ ଅନ୍ୟ କିଛି ନୁହେଁ ।

୩ । ତେଜସ୍କ୍ରିୟ ରଶ୍ମିଗୁଡ଼ିକର ଧର୍ମ (Properties of radio-active rays)

ତେଜସ୍କ୍ରିୟ ରଶ୍ମି ଦ୍ୱାରା ଫଟୋଗ୍ରାଫିକ୍ ପ୍ଲେଟ ଓ ପ୍ରତିଦୀପ୍ତି ପରଦା (Fluorescent Screen) ପ୍ରଭାବିତ ହୁଏ । କେବଳ ଆଲଫା ବିଟା ରଶ୍ମିର ଗତି ପଥ ଚୁମ୍ବକ କ୍ଷେତ୍ର ଦ୍ୱାରା ପରିବର୍ତ୍ତିତ ହୁଏ ; କିନ୍ତୁ ଗାମା ରଶ୍ମି ଚୁମ୍ବକ କ୍ଷେତ୍ର ଦ୍ୱାରା ପ୍ରଭାବିତ ହୁଏ ନାହିଁ । ପ୍ରତ୍ୟେକ ରଶ୍ମି ଅଳ୍ପ ବିସ୍ତୃତ ପରିମାଣରେ ବିଭିନ୍ନ ମାଧ୍ୟମ ଭେଦ କରି ଥାଆନ୍ତି ଏବଂ ପ୍ରତ୍ୟେକ ଆୟନୀ କରଣ (Ionisation) କରିବାକୁ ସମର୍ଥ ହୁଅନ୍ତି । ରଶ୍ମିଗୁଡ଼ିକର ଏହିସବୁ ଧର୍ମ ବ୍ୟବହାର କରି ସେଗୁଡ଼ିକ ବିଷୟରେ ବିଶେଷ ଜ୍ଞାନ ସଂଗ୍ରହ କରାଯାଇଥାଏ ।

ସାଧାରଣ ବାୟୁରେ ଆଲଫା ରଶ୍ମିର ପରାସ (range) ମାତ୍ର ଅଳ୍ପ କେତେ ସେଣ୍ଟିମିଟର । ଏହା ସହଜରେ କାଗଜ ପରଦାକୁ ମଧ୍ୟ ଅତିକ୍ରମ କରି ପାରେ ନାହିଁ କିନ୍ତୁ ବିଟା ରଶ୍ମିର ପରାସ ଏହାଠାରୁ ଯଥେଷ୍ଟ ବେଶୀ । ଏହାର ପରାସ ବାୟୁରେ କେତେ ମିଟର ଓ ଏହା ଏକ ମିଲିମିଟର ମୋଟା ଆଲୁମିନିୟମକୁ ମଧ୍ୟ ସହଜରେ ଅତିକ୍ରମ କରି ଯାଇପାରେ । ଗାମା ରଶ୍ମି ବାୟୁ ମଣ୍ଡଳ ଦ୍ୱାରା ପ୍ରାୟ ଶୋଷିତ ହୁଏ ନାହିଁ । ଏହା ସେଣ୍ଟିମିଟର ମୋଟା ଲେଡ୍ (Lead) କୁ ମଧ୍ୟ ଅତିକ୍ରମ କରି ଯାଇପାରେ ।

ଚୁମ୍ବକ କ୍ଷେତ୍ର ଓ ବିଦ୍ୟୁତ କ୍ଷେତ୍ର ଦ୍ୱାରା ବିଟା ରଶ୍ମିର ଗତି ପଥର ପରିବର୍ତ୍ତନରୁ ଜଣାଯାଏ ଏହା ଋଣ ବିଦ୍ୟୁତ ଯୁକ୍ତ, ଏହାର ଚାର୍ଜ ଓ ବସ୍ତୁତ୍ୱର ଅନୁପାତ ନିର୍ଣ୍ଣୟ କଲେ ତାହା କ୍ୟାଥୋଡ୍ ରଶ୍ମିର ଅନୁରୂପ ଅନୁପାତ ସହିତ ସମାନ ହୁଏ । ତେଣୁ ବିଟା ରଶ୍ମି ଦ୍ରୁତଗାମୀ ଇଲେକଟ୍ରନ୍ ବୋଲି ଜଣାପଡ଼େ ।

ସେହିପରି ଚୁମ୍ବକ କ୍ଷେତ୍ର ଓ ବିଦ୍ୟୁତ କ୍ଷେତ୍ର ଦ୍ୱାରା ହେଉଥିବା ଆଲଫା ରଶ୍ମିର ବିକ୍ଷେପରୁ (deflection) ତାର ପରିବେଗ, ଚାର୍ଜ ଓ ବସ୍ତୁତ୍ୱର ଅନୁପାତ ନିର୍ଣ୍ଣୟ କରାଯାଇପାରେ । ଏହି ଅନୁପାତ ଆୟନୀତ ଉଦ୍‌ଜାନର (ionised Hydrogen) ଅନୁରୂପ ଅନୁପାତର ପ୍ରାୟ ଅଧା । ରଦରଫୋର୍ଡ ଏବଂ ଗାଇଗର (Rutherford and Geiger) ପ୍ରଥମେ ଦୁଇଟି ପରୀକ୍ଷା ସାହାଯ୍ୟରେ ଆଲଫା

ରଶ୍ମିର ଚାର୍ଜ ନିର୍ଣ୍ଣୟ କରି ପାରିଥିଲେ । ତାଙ୍କ ପରୀକ୍ଷା ଦୁଇଟି ହେଲା ଗୋଟିଏ ତେଜସ୍କ୍ରିୟ ପଦାର୍ଥରୁ ନିର୍ଗତ ହେଉଥିବା ଆଲଫା ରଶ୍ମିକୁ ଅନ୍ୟ ରଶ୍ମି-ମାନଙ୍କଠାରୁ ପୃଥକ କରି ଏକ ଧାତବ ପରଦା ଉପରେ ପକାଯାଏ । ଏକ ଇଲେକ୍ଟ୍ରୋମିଟର ଦ୍ୱାରା ପରଦାରୁ ସଂଗୃହୀତ ହୋଇଥିବା ଚାର୍ଜକୁ ମପାଯାଏ । ତେଜସ୍କ୍ରିୟ ପଦାର୍ଥରୁ ସେହି ସମୟ ମଧ୍ୟରେ ବିକିରିତ (radiated) ହେଉଥିବା ଆଲଫା ରଶ୍ମିର ସଂଖ୍ୟା ନିର୍ଣ୍ଣୟ କରାଯାଏ । ଯେଉଁ ଉପକରଣ ସାହାଯ୍ୟରେ ଆଲଫା ରଶ୍ମିର ସଂଖ୍ୟା ନିର୍ଣ୍ଣୟ କରାଯାଏ ତାହାକୁ ଗାଇଗର କାଉଣ୍ଟର (Geiger Counter) କୁହାଯାଏ । ଏହି ଉପରୋକ୍ତ ଦୁଇ ପରୀକ୍ଷାରୁ ଆଲଫା ରଶ୍ମିର ଚାର୍ଜ ନିର୍ଣ୍ଣୟ କରାଯାଏ । ଏହି ଚାର୍ଜର ପରିମାଣ ଆୟନିତ ଉଦ୍‌ଜାନ ଚାର୍ଜର ପରିମାଣର ଦୁଇ ଗୁଣ । ଯେହେତୁ

$$\left(\frac{e_\alpha}{M_\alpha}\right)=\frac{1}{2}\left(\frac{e_H}{M_H}\right)$$

ତେଣୁ $M_\alpha = 2\,\dfrac{M_H\, e_\alpha}{e_H} = 4M_H$

ଆଲଫା ରଶ୍ମିର ଚାର୍ଜ ଆୟନିତ ଉଦ୍‌ଜାନର ଚାର୍ଜର ଦୁଇ ଗୁଣ ଓ ବସ୍ତୁତ୍ୱ ଉଦ୍‌ଜାନ ବସ୍ତୁତ୍ୱର ଚାରିଗୁଣ ହୋଇଥିବାରୁ ଆଲଫା ରଶ୍ମି ହିଲିୟମ୍ ନିଉକ୍ଲିୟସ ବ୍ୟତୀତ ଅନ୍ୟ କିଛି ନୁହେଁ ବୋଲି ଜଣାଯାଏ ।

ଅନ୍ୟ ଏକ ପରୀକ୍ଷାରୁ ମଧ୍ୟ ପ୍ରମାଣ କରାଯାଇପାରେ ଯେ ଆଲଫା ରଶ୍ମି ହିଲିୟମ ନିଉକ୍ଲିୟସ ଅଟେ । ପରୀକ୍ଷାଟି ହେଲା ଗୋଟିଏ ଶୂନ୍ୟ କାଚ ନଳୀ ଭିତରକୁ କିଛି ଆଲଫା ରଶ୍ମି ନିକ୍ଷେପ କରାଯିବା ପରେ ନଳୀ ଭିତର ଦେଇ ବିଦ୍ୟୁତ ବିସର୍ଜନ (discharge) କରାଗଲେ ହିଲିୟମର ବର୍ଣ୍ଣାଳୀ (spectrum) ମିଳେ । କିନ୍ତୁ ଆଲଫା ରଶ୍ମି ନିକ୍ଷେପ ପୂର୍ବରୁ ବିଦ୍ୟୁତ ବିସର୍ଜନ କରାଗଲେ ହିଲିୟମ୍‌ର ବର୍ଣ୍ଣାଳୀ ମିଳେ ନାହିଁ । କାରଣ ଆଲଫା ରଶ୍ମି ହିଲିୟମ ନିଉକ୍ଲିୟସ ହୋଇ ଥିବାରୁ ତାହା ନଳୀ ଭିତରେ ଥିବା ଇଲେକଟ୍ରନ୍ ସଂଗ୍ରହ କରି ହିଲିୟମ ପରମାଣୁରେ ପରିଣତ ହୁଏ ଓ ହିଲିୟମ ପରମାଣୁ ବିଦ୍ୟୁତ ବିସର୍ଜନ ଦ୍ୱାରା ଉତ୍ତେଜିତ (excited) ହୋଇ ଆଲୋକ ବିକିରଣ କରେ ।

୪ । ତେଜସ୍କ୍ରିୟ ବିକିରଣ ଦ୍ୱାରା ଆୟନୀକରଣ (**Ionisation by radioactive radiation**)

ଦ୍ରୁତଗାମୀ α କିମ୍ବା β ରଶ୍ମି କୌଣସି ଗ୍ୟାସ ମଧ୍ୟ ଦେଇ ଗତି କଲାବେଳେ ଗ୍ୟାସର ଅଣୁମାନଙ୍କ ସହିତ ଧକ୍କା (collision) ଲାଗେ । ଏଥି ଯୋଗୁ ଆୟନୀକରଣ (ionisation) ହୁଏ । ଯେତେ ରଶ୍ମିର ଶକ୍ତି ବେଶୀ ହେଲେ ଆୟନୀକରଣ ବେଶୀ ହୁଏ । ପରୀକ୍ଷାରୁ ଜଣାଯାଏ α ରଶ୍ମି ଆୟନୀକରଣ କରିବାରେ β ରଶ୍ମିଠାରୁ ଶକ୍ତିଶାଳୀ ଓ β ରଶ୍ମି, γ ରଶ୍ମି ତୁଳନାରେ ଅଧିକ ଶକ୍ତିଶାଳୀ । γ ରଶ୍ମିର ଆୟନୀକରଣ କରିବାର ଶକ୍ତି ଏକକ ଧରିଲେ β ରଶ୍ମିର 100 ଓ α ରଶ୍ମିର ପ୍ରାୟ 10,000 ହେବ ।

ମେଘ ପ୍ରକୋଷ୍ଠ (cloud chamber) କିମ୍ବା ବୁଦ୍‌ବୁଦ୍ ପ୍ରକୋଷ୍ଠ (bubble chamber) ସାହାଯ୍ୟରେ ଆୟନକାରୀ (ionising) କଣିକା (Particle) ର ଗତି ପଥର ଫଟୋଗ୍ରାଫ୍ ନିଆ ଯାଇପାରେ । ଫଟୋଗ୍ରାଫ୍‌ରୁ ଜଣାଯାଏ



୨b. ସଂଘଟନ ଦ୍ୱାରା α ରଶ୍ମିର ପଥ ଦୁଇଥର ପରିବର୍ତ୍ତିତ ହୋଇଛି



୨a. ମେଘ ପ୍ରକୋଷ୍ଠରେ α ରଶ୍ମିର ପଥ

ଚିତ୍ର (6.2)

α ରଶ୍ମିର ବସ୍ତୁତ୍ୱ ବେଶୀ ହୋଇଥିବାରୁ ଧକ୍କା (collision) ଦ୍ୱାରା ଏହାର ଗତି ପଥର ପରିବର୍ତ୍ତନ ହୁଏ ନାହିଁ । ତେଣୁ ଏହାର ଗତି ପଥ ସିଧା ହୋଇଥାଏ । କିନ୍ତୁ ଗତି ପଥର ଶେଷ ଭାଗରେ ଏହାର ଗତି ଶକ୍ତି କମି ଯାଇଥିବାରୁ ଧକ୍କା ଫଳରେ ଏହାର ଗତି ପଥର ହଠାତ୍ ପରିବର୍ତ୍ତନ ହୁଏ । ଫଟୋଗ୍ରାଫରେ ଧକ୍କାରେ ଅଂଶ ଗ୍ରହଣ କରିଥିବା ପରମାଣୁର ଗତି ପଥ ମଧ୍ୟ ଦେଖାଯାଏ । β ରଶ୍ମି ହାଲୁକା ହୋଇଥିବାରୁ ଏହାର ଗତି ପଥ ଧକ୍କା ପରେ ଥରକୁ ଥର ପରିବର୍ତ୍ତିତ ହେଉଥାଏ ।



ମେଘ ପ୍ରକୋଷ୍ଠରେ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନର ପଥ । ବକ୍ର ପଥ ଗୁଡ଼ିକ ଧୀର ଇଲେକ୍ଟ୍ରନର ଓ ସରଳ ପଥଟି ଦ୍ରୁତଗାମୀ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନର ।

ଚିତ୍ର (6.3)

୪ । ତେଜସ୍କ୍ରିୟ କ୍ଷୟର ନିୟମ (Law of Radioactive decay)

କାଳକ୍ରମେ ତେଜସ୍କ୍ରିୟ ପରମାଣୁର ବିଘଟନ (disintegration) ହୁଏ ଓ ତାହା କ୍ରମେ ଅନ୍ୟ ପରମାଣୁରେ ପରିଣତ ହୋଇଯାଏ । ବିଭିନ୍ନ ପରମାଣୁର ବିଘଟନର ପରିମାଣ ଭିନ୍ନ । ପରୀକ୍ଷାରୁ ଜଣାଯାଏ ଯେ କୌଣସି ସମୟରେ ବିଘଟନର ହାର ତେଜସ୍କ୍ରିୟ ପରମାଣୁ ସଂଖ୍ୟା ସହିତ ଅନୁପାତୀ । ଯଦି t ସମୟରେ ତେଜସ୍କ୍ରିୟ ପରମାଣୁର ସଂଖ୍ୟା N_t ହୁଏ, ତେବେ

$$\frac{-dN_t}{dt} = \lambda N_t \qquad (6{\cdot}1)$$

ଯେଉଁଠାରେ λ = ବିଘଟନ ଧ୍ରୁବାଙ୍କ

ତେଣୁ $\int \frac{dN_t}{N_t} = -\lambda \int dt$

କିମ୍ବା $\log N_t = -\lambda t + c$

ଯଦି $t=0$, ସମୟରେ ତେଜସ୍କ୍ରିୟ ପରମାଣୁର ସଂଖ୍ୟା N_0 ହୁଏ, ତେବେ $c = \log N_0$

କିମ୍ବା $N_t = N_0 e^{-\lambda t}$ (6·2)

ଯଦି T ସମୟରେ $N_t = \frac{N^0}{2}$ ହୁଏ, ତେବେ

$$\tfrac{1}{2} = e^{-\lambda T} \quad (6{\cdot}3)$$

କିମ୍ବା ଅର୍ଦ୍ଧାୟୁ କାଳ $T = \frac{0.693}{\lambda}$

ଯଦି ପ୍ରତ୍ୟେକ ପରମାଣୁର ହାରାହାରି ଜୀବନ କାଳ T_a ହୁଏ, ତେବେ

$$T_a = \frac{1}{\lambda}$$

ଯେଉଁ ପରିମାଣର ତେଜସ୍କ୍ରିୟ ପଦାର୍ଥ ସେକେଣ୍ଡରୁ 3.7×10^{10} ବିଘଟନ (disintegration) କରିପାରେ ତାହାକୁ କ୍ୟୁରି (curie) ବା ତେଜସ୍କ୍ରିୟତାର ଏକକ କୁହାଯାଏ । ଏହି ଏକକର ପରିମାଣ ଅଧିକ ହୋଇଥିବାରୁ ମିଲି କ୍ୟୁରି (Milli Curie) ବା ମାଇକ୍ରୋ କ୍ୟୁରି (Micro Curie) କୁ ଏକକ ହିସାବରେ ମଧ୍ୟ ବ୍ୟବହାର କରାଯାଏ ।

ଉଦାହରଣ—

ଗୋଟିଏ ତେଜସ୍କ୍ରିୟ ପଦାର୍ଥର ଅର୍ଦ୍ଧାୟୁ କାଳ 6 ଦିନ ହେଲେ, କେତେ ଦିନ ପରେ ସମୁଦାୟ ପଦାର୍ଥର 20 ଭାଗରୁ ଭାଗେ ରହିବ ?

ସମୀକରଣ (6.3) ରୁ ଆମେ ପାଉଁ

$$\lambda = \frac{\log 2}{6} = \frac{0.693}{6.3} = 0.11/\text{ ଦିନ}$$

ତେଣୁ $\frac{N}{N_0} = \frac{1}{20} = e$

କିମ୍ବା $-0.11t = \log(\frac{1}{20}) = -2.995$ ଦିନ

$t = 27.2$ ଦିନ

ଉଦାହରଣ—

R_a^{226} ର ଅର୍ଦ୍ଧାୟୁ କାଳ 1620 ବର୍ଷ ହେଲେ, ଏକ ଗ୍ରାମ୍ ରେଡିୟମ୍‌ର ତେଜସ୍କ୍ରିୟତା (activity) କେତେ ?

ସମୀକରଣ (6.3) ରୁ ଆମେ ପାଉଁ

$$\lambda = \frac{\log 2}{1620 \text{ ବର୍ଷ}} = 4.28 \times 10^{-14}/\text{ବର୍ଷ}$$

$$= 1{\cdot}36 \times 10^{-11}/\text{ସେକେଣ୍ଡ}$$

ଯଦି ଏକ ଗ୍ରାମ୍ ରେଡିୟମ୍‌ର ପରମାଣୁ ସଂଖ୍ୟା N ହୁଏ,

$$\text{ତେବେ} \quad N = \frac{6.25 \times 10^{23} \times 1}{226} = 2.7 \times 10^{21} \text{ ପରମାଣୁ}$$

$$\text{ତେଜସ୍କ୍ରିୟତା} = \lambda N = (1.36 \times 10^{-11}/\text{ସେକେଣ୍ଡ}) \times (2.7 \times 10^{21} \text{ ପରମାଣୁ})$$

$$= 3.6 \times 10^{10} \text{ ବିଘଟନ}/\text{ସେକେଣ୍ଡ}$$

$$= 0.97 \text{ କ୍ୟୁରି ।}$$

୭ । ଗାମା ରଶ୍ମି କ୍ଷୟ (γ—Decay)

ଯେପରି ପରମାଣୁ ବିଭିନ୍ନ ଉଚ୍ଚ ଶକ୍ତି ସ୍ତରରୁ ନିମ୍ନ ଶକ୍ତି ସ୍ତରକୁ ଫେରି ଆସି ଫୋଟନ ବିକିରଣ କରିଥାଏ, ସେହିପରି ନିଉକ୍ଲିୟସ ଉଚ୍ଚ ଶକ୍ତି ସ୍ତରରୁ ଫେରି ଆସି γ ରଶ୍ମି ବିକିରଣ କରିଥାଏ । ଏହି ବିକିରଣ ଦ୍ୱାରା ନିଉକ୍ଲିୟସର ପରମାଣବୀୟ ସଂଖ୍ୟା (atomic number) କିମ୍ବା ବସ୍ତୁତ୍ୱ ସଂଖ୍ୟା (mass number) ର କିଛି ପରିବର୍ତ୍ତନ ହୁଏ ନାହିଁ । γ ରଶ୍ମି କ୍ଷୟର ଅର୍ଦ୍ଧାୟୁ କାଳ ସାଧାରଣତଃ କମ୍ । ଏହି ବିକିରଣ ସାହାଯ୍ୟରେ ନିଉକ୍ଲିୟସର ବିଭିନ୍ନ ଶକ୍ତି ସ୍ତରର ଶକ୍ତି ନିର୍ଣ୍ଣୟ କରାଯାଇପାରେ ଓ ନିଉକ୍ଲିୟସ୍ ସମ୍ବନ୍ଧରେ ବିଶେଷ ଜ୍ଞାନ ଲାଭ କରି ହୁଏ ।

୭ । ଆଲ୍‌ଫା ରଶ୍ମି କ୍ଷୟ (α—Decay)

ନିଉକ୍ଲିୟସରୁ α ରଶ୍ମି ବିକିରଣ ହେଲେ ନିଉକ୍ଲିୟସର ବସ୍ତୁତ୍ୱ ସଂଖ୍ୟା (Mass number) 4 ଏବଂ ପରମାଣବୀୟ ସଂଖ୍ୟା (atomic number) 2 କମିଯାଏ । ତେଣୁ α ରଶ୍ମି କ୍ଷୟ ଯୋଗୁ ପରମାଣୁଟି ଅନ୍ୟ ଏକ ପରମାଣୁରେ ପରିଣତ ହୋଇଯାଏ ।



$${}_{Z}X^{A} \rightarrow {}_{Z-2}Y^{A-4} + He^{4} + Q \qquad (6.4)$$

ଏହି ପରିବର୍ତ୍ତନ ସମୟରେ କିଛି ବସ୍ତୁତ୍ୱର ବିନାଶ ହୋଇ ଶକ୍ତିରେ ପରିଣତ ହୁଏ । ଏହି ଶକ୍ତିର ପରିମାଣ ∝ ରଶ୍ମିର ଗତି ଶକ୍ତି ଓ ପ୍ରତିକ୍ଷିପ୍ତ (recoil) ନିଉକ୍ଲିୟସର ଗତି ଶକ୍ତିର ସମଷ୍ଟି ସହିତ ସମାନ । ଏହି ଉତ୍ପନ୍ନ ଶକ୍ତିକୁ ବିଘଟନ ଶକ୍ତି (disintegration energy) Q କହନ୍ତି ।

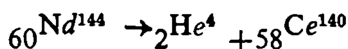
$$Q=E_{kr}+E_{k\alpha}=(m_{p}-m_{r}-m_{\alpha})c^{2}$$

ଏଠାରେ ନିଉକ୍ଲିୟସର ବସ୍ତୁତ୍ୱ ପରିବର୍ତ୍ତେ ପରମାଣୁର ବସ୍ତୁତ୍ୱ ବ୍ୟବହାର କଲେ କିଛି ଭୁଲ ହେବ ନାହିଁ । କାରଣ ବିଘଟନ ପୂର୍ବରୁ ଓ ପରେ ଇଲେକଟ୍ରନ୍ ସଂଖ୍ୟା ସମାନ ରହୁଛି । ତେଣୁ

$$Q=(m_{x}-m_{y}-m_{He}) \qquad (6.5)$$

ଉଦାହରଣ—

ନିମ୍ନରେ ଦିଆ ଯାଇଥିବା ନିଉକ୍ଲିୟାର ପ୍ରକ୍ରିୟାରେ ବିଘଟନ ଶକ୍ତିର (disintegration energy) ପରିମାଣ ନିର୍ଣ୍ଣୟ କର ।



$${}_{60}Nd^{144} \rightarrow {}_{2}He^{4} + {}_{58}Ce^{140}$$

ଆଇସୋଟୋପ୍ ବସ୍ତୁତ୍ୱ ତାଲିକାରୁ ମିଳେ

${}_{2}He^{4} = 4.00387$, ${}_{58}Ce^{140} = 139.94777$

ଏବଂ ${}_{60}Nd^{144} = 143.95556$

ତେଣୁ ବସ୍ତୁତ୍ୱ କ୍ଷୟର ପରିମାଣ=

$$143.95556-(4.00387+139.49777)=0.00192$$

ତେଣୁ $Q=mc^{2}=.00192\times9\times10^{20}=1.79$ ମି: ଇ: ଭୋ:

ଉଦାହରଣ—

∝ ରଶ୍ମି ବିଘଟନ ସମୟରେ ବିଘଟନ ଶକ୍ତିର କେତେ ଭାଗ ∝ ରଶ୍ମିର ଗତି ଶକ୍ତିରେ ପରିଣତ ହୁଏ ?

ବିଘଟନ ସମୟରେ ଶକ୍ତିର ଓ ସଂବେଗର ସଂରକ୍ଷଣ (Conservation) ହୋଇଥାଏ । ତେଣୁ

$$Q=\tfrac{1}{2}m_{r}u^{2}_{r}+\tfrac{1}{2}m_{\alpha}u^{2}_{\alpha}$$

ଏବଂ $m_\alpha u_\alpha = m_r u_r$ ଲେଖା $u_r = \frac{m_\alpha}{m_r} u_\alpha$

$$Q = \tfrac{1}{2} m_r \frac{m_\alpha^2}{m_r^2} u_\alpha^2 + \tfrac{1}{2} m_\alpha u_\alpha^2$$

$$= \tfrac{1}{2} m_\alpha u_\alpha^2 \left(1 + \frac{m_\alpha}{m_r} \right)$$

ଲେଖା $$E_{k,\alpha} = \frac{Q}{1 + \frac{m_\alpha}{m_r}}$$

ଯଦି ମୂଳ ପରମାଣୁର ବସ୍ତୁତ୍ୱ ସଂଖ୍ୟା A ହୁଏ, ତେବେ

$$\frac{m_\alpha}{m_r} \simeq 4/A-4 \text{ ତେଣୁ } E_{k\alpha} \simeq \frac{A-4}{A} Q$$

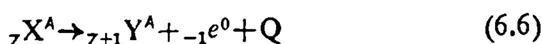
ମୂଳ ପରମାଣୁର ବସ୍ତୁତ୍ୱ ସଂଖ୍ୟା ଅଧିକ ହେଲେ, ପ୍ରାୟ ସମୁଦାୟ ଶକ୍ତି α ରଶ୍ମିର ଗତି ଶକ୍ତିରେ ପରିଣତ ହୁଏ ।

୮ । ବିଟା ରଶ୍ମି କ୍ଷୟ (β—Decay)

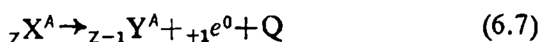
ଆମେ ଜାଣୁ ନଉକ୍ଲିୟସ ଭିତରେ ଇଲେକଟ୍ରନ୍ ନ ଥାଏ । ତେଣୁ ବିଘଟନ ସମୟରେ ନଉକ୍ଲିୟସ ଗଠନର ପରିବର୍ତ୍ତନ ହୋଇ β ରଶ୍ମିର ବିକିରଣ ହୋଇଥାଏ । ଏହି ପରିବର୍ତ୍ତନ ଦ୍ୱାରା ନଉକ୍ଲିୟସ୍ ଉଚ୍ଚ ଶକ୍ତି ସ୍ତରରୁ ନିମ୍ନ ଶକ୍ତି ସ୍ତରକୁ ଆସେ । ଏହି ଦୁଇ ସ୍ତରର ଶକ୍ତିର ପ୍ରଭେଦରୁ ଇଲେକଟ୍ରନ୍‌ର ସ୍ଥିର ଶକ୍ତି (Rest energy) ଓ ଗତି ଶକ୍ତି (kinetic energy) ମିଳିଥାଏ ।

ସାଧାରଣତଃ ବିଘଟନ ସମୟରେ ଦୁଇ ପ୍ରକାର β ରଶ୍ମି କ୍ଷୟ ଘଟିଥାଏ । ଏକ ପ୍ରକାର ବିଘଟନ ସମୟରେ ନଉକ୍ଲିୟସରୁ ଇଲେକଟ୍ରନ୍ ବିକିରଣ ହୋଇଥାଏ ଏବଂ ଅନ୍ୟ ପ୍ରକାର ବିଘଟନ ସମୟରେ ପଜିଟ୍ରନ୍ (Positron) ବିକିରଣ ହୋଇଥାଏ । ଇଲେକଟ୍ରନ୍ ବିକିରଣ ସମୟରେ ନଉକ୍ଲିୟସର ଏକ ନଉଟ୍ରନ୍ ପ୍ରୋଟନ୍‌ରେ ପରିଣତ ହୁଏ । ତେଣୁ ନଉକ୍ଲିୟସର ପରମାଣବିକ ସଂଖ୍ୟା ବଢ଼ିଯାଏ । ସେହିପରି ପଜିଟ୍ରନ୍ ବିକିରଣ ସମୟରେ ଏକ ପ୍ରୋଟନ୍

ନିଉଟ୍ରନ୍‌ରେ ପରିଣତ ହୁଏ । ତେଣୁ ପରମାଣବୀୟ ସଂଖ୍ୟା କମିଯାଏ । ଉଦାହରଣ ସ୍ୱରୂପ—



$$_{Z}X^{A} \rightarrow {}_{Z+1}Y^{A} + {}_{-1}e^{0} + Q \qquad (6.6)$$



$$_{Z}X^{A} \rightarrow {}_{Z-1}Y^{A} + {}_{+1}e^{0} + Q \qquad (6.7)$$

ସମୀକରଣ (6.6)ରୁ ମିଳେ ଯେ ମୂଳ ନିଉକ୍ଲିୟସର ବସ୍ତୁତ୍ୱ ସୃଷ୍ଟି ହୋଇଥିବା ନିଉକ୍ଲିୟସର ବସ୍ତୁତ୍ୱ ଓ ଇଲେକ୍‌ଟ୍ରନ୍ ବସ୍ତୁତ୍ୱର ସମଷ୍ଟିଠାରୁ ବେଶୀ ହେବା ଦରକାର ନଚେତ β^- ବିକିରଣ ହୋଇ ପାରିବ ନାହିଁ ।

କିନ୍ତୁ β^+ ବିକିରଣର ତତ୍ତ୍ୱ ସାମାନ୍ୟ ଜଟିଳ । ପରୀକ୍ଷାରୁ ଜଣାଯାଏ ଯଦି $_{Z}X^{A}$ ର ବସ୍ତୁତ୍ୱ $_{Z-1}Y^{A}$ ର ବସ୍ତୁତଠାରୁ ଦୁଇ ଇଲେକଟ୍ରନ୍ ବସ୍ତୁତ୍ୱର ପରିମାଣ ବେଶୀ ହୁଏ, ତେବେ ନିଉକ୍ଲିୟସ୍ଟି β^+ ବିକିରଣ କରିପାରେ । ତେଣୁ ଏହା ଅଧିକ ଏକ ଇଲେକ୍‌ଟ୍ରନ୍ ବସ୍ତୁତ୍ୱ ପରିମାଣର ଶକ୍ତି ବିକିରଣ କରିଥାଏ । ଯଦି m_x ଏବଂ m_y ମୂଳ ଏବଂ ଶେଷ ପରମାଣୁର ବସ୍ତୁତ୍ୱ ହୁଏ, ତେବେ

$$Q=m_x-m_y-2m_ec^2$$

ପରୀକ୍ଷା ଦ୍ୱାରା ଜଣାଯାଏ ଇଲେକଟ୍ରନ୍ ବା ପଜିଟ୍ରନ୍‌ର ଗତି ଶକ୍ତି ବିଘଟନ ଶକ୍ତିଠାରୁ ଅନିର୍ଦ୍ଦିଷ୍ଟ ମାତ୍ରାରେ କମ୍ ହୋଇଥାଏ । କିନ୍ତୁ β ରଶ୍ମି ବିକିରଣର ତତ୍ତ୍ୱାଲୋଚନା କଲେ ଜଣାଯାଏ ଏହା ସବୁବେଳେ ନିର୍ଦ୍ଦିଷ୍ଟ ପରିମାଣର ହେବା କଥା । କାରଣ ସ୍ଥିର ନିଉଟ୍ରନ୍ ପ୍ରୋଟନ୍‌ରେ କିମ୍ବା ସ୍ଥିର ପ୍ରୋଟନ୍ ନିଉଟ୍ରନ୍‌ରେ ପରିବର୍ତ୍ତିତ ହେବା ସମୟରେ β ରଶ୍ମିର ବିକିରଣ ହୋଇଥାଏ । ଏହି ଅସୁବିଧା ଦୂର କରିବା ପାଇଁ 1934 ମସିହାରେ β ରଶ୍ମି ସହିତ ନିଉଟ୍ରିନୋ (Neutrino) ନାମକ ଅନ୍ୟ ଏକ କଣିକାର ବିକିରଣ ହେଉଥିବାର କଳ୍ପନା କରାଗଲା । ଏହା ସ୍ଥିର ବସ୍ତୁତ୍ୱ ଓ ଚାର୍ଜ ଶୂନ୍ୟ ଏବଂ ଏହା ଆଲୋକର ପରିବେଗରେ ଗତିକରେ ବୋଲି ଧରି ନିଆଗଲା । ବିଘଟନ ଶକ୍ତି ଇଲେକଟ୍ରନ୍ ଓ ନିଉଟ୍ରିନୋ (Neutrino)



ଅବିଚ୍ଛିନ୍ନ β ରଶ୍ମିର ବର୍ଣ୍ଣାଳୀ

ଚିତ୍ର (6.4)

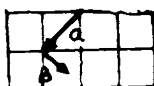
ମଧ୍ୟରେ ବାନ୍ଧି ହୋଇ ଯାଉଥିବାରୁ ଇଲେକଟ୍ରନ୍ ଶକ୍ତିର ପରିମାଣ ବିଘଟନ ଶକ୍ତିଠାରୁ ଅନିର୍ଦ୍ଦିଷ୍ଟ ପରିମାଣ ବୋଲି ଜଣା ପଡ଼ୁଥିଲା । 1956 ରେ ଏହି କଣିକାର ସ୍ଥିତି ପରୀକ୍ଷା ଦ୍ୱାରା ପ୍ରମାଣ କରାଯାଇଛି ।

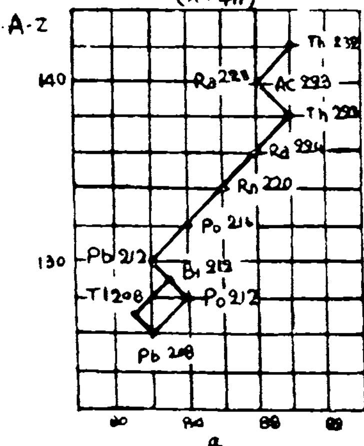
୯ । ପ୍ରାକୃତିକ ତେଜସ୍କ୍ରିୟ ଶ୍ରେଣୀ (Natural Radio Active Series)

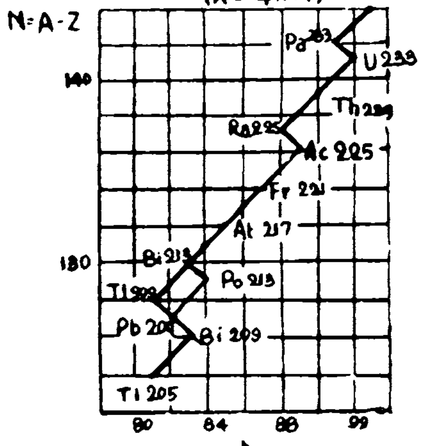
ପରୀକ୍ଷାରୁ ଜଣାଯାଏ ତେଜସ୍କ୍ରିୟ ପରମାଣୁ ବିଘଟନ ପରେ ଏକ ନୂଆ ତେଜସ୍କ୍ରିୟ ପରମାଣୁରେ ପରିଣତ ହୁଅନ୍ତି । ଏହି ନୂଆ ତେଜସ୍କ୍ରିୟ ପରମାଣୁଟି ବିଘଟନ ପରେ ଅନ୍ୟ ଏକ ତେଜସ୍କ୍ରିୟ ପରମାଣୁରେ ପରିଣତ ହୁଏ । ଏହିପରି ଭାବରେ ମୂଳ ପରମାଣୁଟି ବିଭିନ୍ନ ତେଜସ୍କ୍ରିୟ ପରମାଣୁରେ ପରିଣତ ହୋଇ ସର୍ବ ଶେଷରେ ଏକ ସ୍ଥାୟୀ ପରମାଣୁରେ ପରିଣତ ହୁଏ । ତାପରେ ଆଉ ବିଘଟନ ହୁଏ ନାହିଁ ।

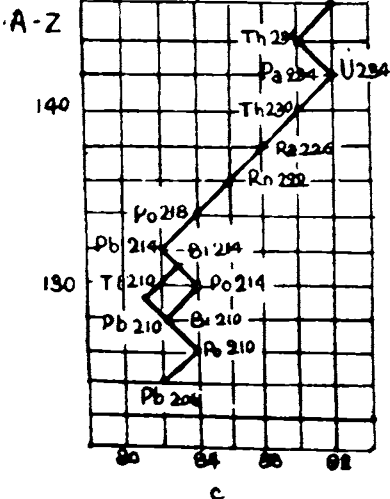
ସବୁ ପ୍ରାକୃତିକ ତେଜସ୍କ୍ରିୟ ପରମାଣୁଗୁଡ଼ିକୁ ଚାରିଗୋଟି ତେଜସ୍କ୍ରିୟ ଶ୍ରେଣୀରେ ଭାଗ କରାଯାଇପାରେ । ଯେଉଁ ତେଜସ୍କ୍ରିୟ ପରମାଣୁଗୁଡ଼ିକର ବସ୍ତୁତ୍ୱ ସଂଖ୍ୟା $4n$, $4n+1$, $4n+2$ ଏବଂ $4n+3$ (n ଗୋଟିଏ ପୂର୍ଣ୍ଣ ସଂଖ୍ୟା) ସେଗୁଡ଼ିକ ପ୍ରତ୍ୟେକ ଏକ ଭିନ୍ନ ଶ୍ରେଣୀର । କୌଣସି ଶ୍ରେଣୀର ନାମକରଣ ସେହି ଶ୍ରେଣୀର ସର୍ବାଧିକ ବସ୍ତୁତ୍ୱ ସଂଖ୍ୟା ବିଶିଷ୍ଟ ପରମାଣୁ ଅନୁସାରେ କରା ଯାଇଥାଏ । ଉଦାହରଣ ସ୍ୱରୂପ ଥୋରିୟମ୍ (Thorium) ର ବସ୍ତୁତ୍ୱ ସଂଖ୍ୟା 232 ତେଣୁ ଏହା $4n$ ଶ୍ରେଣୀର ଅନ୍ତର୍ଗତ । ଏହି ଶ୍ରେଣୀର ଅଣୁ ପରମାଣୁଗୁଡ଼ିକର ବସ୍ତୁତ୍ୱ ସଂଖ୍ୟା 232 ରୁ କମ୍ ହୋଇ ଥିବାରୁ ଏହି ଶ୍ରେଣୀକୁ ଥୋରିୟମ୍ ଶ୍ରେଣୀ କୁହାଯାଏ । ସେହିପରି ଅନ୍ୟ ଶ୍ରେଣୀଗୁଡ଼ିକର ନାମ ହେଲା ନେପ୍‌ଚୁନିୟମ୍ (Neptunium), ୟୁରାନିୟମ୍ (Uranium), ଏକ୍‌ଟିନିୟମ୍ (Actinium) । କିନ୍ତୁ ନେପ୍‌ଚୁନିୟମ୍ ଶ୍ରେଣୀର ପରମାଣୁଗୁଡ଼ିକ ପୃଥିବୀ ପୃଷ୍ଠରେ ପ୍ରାପ୍ତ ଦେଖାଯାଏ ନାହିଁ । କାରଣ ସେଗୁଡ଼ିକର ଅର୍ଦ୍ଧାୟୁ କାଳ ($T=2.2\times10^6$ ବର୍ଷ) ପୃଥିବୀର ସୃଷ୍ଟିଠାରୁ କମ୍ । ପ୍ରତ୍ୟେକ ଶ୍ରେଣୀ ସର୍ବ ଶେଷରେ ସ୍ଥାୟୀ ପରମାଣୁ ଲେଡ୍ (Lead) ରେ ପରିଣତ ହୁଅନ୍ତି । କିନ୍ତୁ ନେପ୍‌ଚୁନିୟମ୍ ଶ୍ରେଣୀ ଶେଷରେ ସ୍ଥାୟୀ ପରମାଣୁ ଥାଲାନିୟମ୍ (Thalanium) ରେ ପରିଣତ ହୋଇଥାଏ । ଏହି ତେଜସ୍କ୍ରିୟ ଶ୍ରେଣୀଗୁଡ଼ିକର ଚିତ୍ର (6.5) ରେ ଦର୍ଶା ଯାଇଛି ।

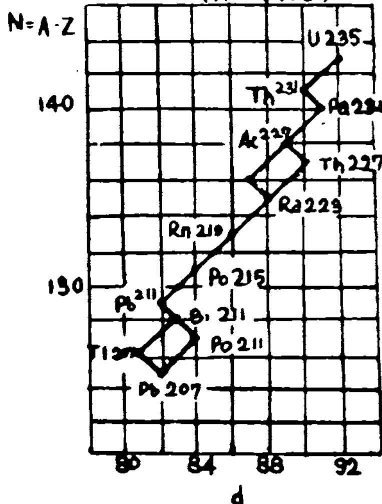
ପ୍ରାକୃତିକ ତେଜସ୍କ୍ରିୟ ଶ୍ରେଣୀସମୂହ











ଚିତ୍ର (6.5)

ଉପରୋକ୍ତ ଶ୍ରେଣୀର ଅନ୍ତର୍ଭୁକ୍ତ ହୋଇ ନ ଥିବା ଅନ୍ୟ କେତେଗୁଡ଼ିଏ

ତେଜସ୍କ୍ରିୟ ପରମାଣୁ ପୃଥିବୀ ପୃଷ୍ଠରେ ଦେଖାଯାଏ । ସେଗୁଡ଼ିକରୁ କେତେକ ହେଲା



$_1H^3$, $_6C^{14}$, $_{19}K^{40}$, $_{37}Rb^{87}$ ଏବଂ $_{49}In^{115}$

ଯେତେବେଳେ ଏକ ତେଜସ୍କ୍ରିୟ ଶ୍ରେଣୀର ପରମାଣୁଗୁଡ଼ିକ ଏକ ଜାଗାରେ ରହିଯାଏ, ତେବେ କିଛି ସମୟ ପରେ ଏକ ସ୍ଥିର ଅବସ୍ଥା (Steady State) ରେ ପହଞ୍ଚେ । ପରମାଣୁଗୁଡ଼ିକ ଏହି ଅବସ୍ଥାରେ ଥିଲେ ଏକ ଏକକ ସମୟ ମଧ୍ୟରେ ବିଘଟିତ ହେଉଥିବା ଯେ କୌଣସି ପରମାଣୁର ସଂଖ୍ୟା $N_1 \lambda_1$ ଅନ୍ୟ ପରମାଣୁ ସଂଖ୍ୟା ସହିତ ସମାନ ହେବ।

$$N_1\lambda_2 = N_2\lambda_2 = N_3\lambda_3 \qquad (6.8)$$

ଯେଉଁ ପରମାଣୁର ଅର୍ଦ୍ଧାୟୁ କାଳ ଅତ୍ୟନ୍ତ କମ୍ ହେବା ବେଶୀ ସେଗୁଡ଼ିକର ବିଘଟନ ଧ୍ରୁବାଙ୍କ (disintegration constant) (6.8) ସମୀକରଣ ସାହାଯ୍ୟରେ ନିର୍ଣ୍ଣୟ କରାଯାଇଥାଏ ।

୧୦ । କୃତ୍ରିମ ବିଘଟନ (Artificial disintegration)

କୃତ୍ରିମ ବିଘଟନ ପ୍ରକ୍ରିୟା ପ୍ରଥମେ α ରଶ୍ମି ପ୍ରକୀର୍ଣ୍ଣନ (Scattering) ପରୀକ୍ଷା ସମୟରେ ଉଦ୍‌ଭାବିତ ହୋଇଥିଲା । ପରୀକ୍ଷାଟି ହେଲା 1918 ମସିହାରେ ରଦରଫୋର୍ଡ଼ (Rutherford) ବାୟୁକଣା ଦ୍ୱାରା α ରଶ୍ମିର ପ୍ରକୀର୍ଣ୍ଣନର ଫଟୋଗ୍ରାଫ୍ ମେଘ କୋଠରି (Cloud Chamber) ସାହାଯ୍ୟରେ ନେଉଥିଲେ । ଫଟୋରୁ ସେ ଦେଖିଲେ କେତେକ ଜାଗାରେ α ରଶ୍ମିର ଗତି ପଥ ଦୁଇ ଭାଗରେ ବିଭକ୍ତ ହୋଇ ଯାଉଛି । ଏହା α ରଶ୍ମିର ବାୟୁକଣା ସହିତ ସଂଘଟନ ଯୋଗୁ ହେଉଥିବାର ଅନୁମାନ କରାଗଲା । କାରଣ ସଂଘଟନ ପରେ α ରଶ୍ମି ଓ ବାୟୁକଣାର ବେଗ ଏବଂ ଗତି ପଥ ଏପରି ହେଉଛି ଯେ ଯାହା ଦ୍ୱାରା ଶକ୍ତି ଓ ସଂବେଗ ସଂରକ୍ଷଣ ନିୟମର (Law of Conservation of momentum and energy) ବ୍ୟତିକ୍ରମ ହେଉ ନାହିଁ ।

ଫଟୋଗ୍ରାଫ୍‌ରୁ ପୁଣି ଦେଖିଲେ ଯେ କେତେକ ଜାଗାରେ α ରଶ୍ମିର ପଥ (Track) ର ଦିଗ ପରିବର୍ତ୍ତନ ହେଉଛି । ଏହି ପରିବର୍ତ୍ତିତ ପଥର ଦୂରତା ପ୍ରାୟ 40 ସେ:ମି: । ରଦରଫୋର୍ଡ଼ ପ୍ରଥମେ ଭାବିଥିଲେ ଯେ α ରଶ୍ମିର ବାୟୁମଣ୍ଡଳରେ ଥିବା ଉଦ୍‌ଜାନ ନିଉକ୍ଲିୟସ ସହିତ ସଂଘଟନ ଯୋଗୁ ନିଉକ୍ଲିୟସଟି

ଭିନ୍ନ ଏକ ଦିଗରେ ଗତି କରି ଏହି ପଥ ସୃଷ୍ଟି କରୁଛି । କିନ୍ତୁ ପରେ ହିସାବରୁ ଜାଣିଲେ ଯେ ∝ ରଶ୍ମିର ଉଦ୍‌ଜାନ ନିଉକ୍ଲିୟସ ବା ପ୍ରୋଟନ୍ ସହିତ ସଂଘଟନ ଯୋଗୁ ଯଦି ଏହି ପଥ ସୃଷ୍ଟି ହୁଏ ତେବେ, ଏହାର ଦୂରତା 28 ସେ:ମି:ରୁ ବେଶୀ ହେବ ନାହିଁ ଏବଂ ଏହାର ପଥର ଦିଗ ∝ ରଶ୍ମିର ପଥର ଦିଗ ଉପରେ ନିର୍ଭର କରିବ । କିନ୍ତୁ ସଂଘଟନ ପରେ ପ୍ରୋଟନ୍‌ଟି ଯେ କୌଣସି ଦିଗକୁ ଯାଉଛି ଏବଂ ଏହାର ଗତି ପଥର ଦିଗର, ∝ ରଶ୍ମିର ଗତି ପଥର ଦିଗ ସହିତ କୌଣସି ସଂପର୍କ ରହୁ ନାହିଁ । ∝ ରଶ୍ମିର ବସ୍ତୁତ୍ୱ ପ୍ରୋଟନର ବସ୍ତୁତ୍ୱଠାରୁ ମାତ୍ର 4 ଗୁଣ



ରଦରଫୋର୍ଡଙ୍କ ଦ୍ୱାରା ଉଦ୍‌ଭାବିତ ହୋଇଥିବା ପ୍ରଥମ କୃତ୍ରିମ ବିଘଟନର ମେଘ ପ୍ରକୋଷ୍ଠ ଫଟୋଗ୍ରାଫ୍ । ଏଠାରେ ପ୍ରୋଟନର ପଥ (Track) ବାମ ତଳ ଅଡ଼କୁ ଗତି କରୁଛି ଓ ପ୍ରତିକ୍ଷିପ୍ତ ନିଉକ୍ଲିୟସର ପଥ ଡାହାଣର ଉପର ଅଡ଼କୁ ଗତି କରୁଛି । ଚିତ୍ରରେ ବିଘଟନର ଅବସ୍ଥିତି ତୀର ଦ୍ୱାରା ଚିହ୍ନିତ ହୋଇଛି ।

ଚିତ୍ର (୨.6)

ହେଲେ ମଧ୍ୟ ସଂଘଟନ (Collision) ପରେ ∝ ରଶ୍ମିର ପ୍ରତିକ୍ଷେପ (recoil) ର ପଥ ରହୁ ନାହିଁ । ତେଣୁ ସେ ଏହି ପ୍ରକ୍ରିୟାକୁ ଅନ୍ୟ କୌଣସି ଏକ ପ୍ରକ୍ରିୟା ବୋଲି ଭାବିଲେ । ପରୀକ୍ଷାରୁ ଜଣାଗଲା ମେଘ କୋଠରି ଭିତରେ ଥିବା ବାୟୁ ନାଇଟ୍ରୋଜେନ୍ ଶୂନ୍ୟ ହେଲେ ଏହି ଘଟଣା ଦେଖା ଯାଉନାହିଁ । ଏହି

ନାଇଟ୍ରୋଜେନ ପରିମାଣ ବେଶୀ ହେଲେ ଏହି ଘଟଣାର ସଂଖ୍ୟା ବେଶୀ ହେଉଛି । ଏହିଥିରୁ ଅନୁମାନ କରାଗଲା α ରଶ୍ମି ଓ ନାଇଟ୍ରୋଜେନ ମଧ୍ୟରେ ସଂଘଟନ ହୋଇ ପ୍ରୋଟନ୍ ନିର୍ଗତ ହେଉଛି । ସଂଘଟନ ଦ୍ୱାରା α ରଶ୍ମି ନାଇଟ୍ରୋଜେନ୍ ନିଉକ୍ଲିୟସ ଦ୍ୱାରା ଶୋଷିତ ହେଉଛି ଏବଂ ନିଉକ୍ଲିୟାର ପ୍ରକ୍ରିୟା ଯୋଗୁ ପ୍ରୋଟନ୍ ନିର୍ଗତ ହେଉଛି । ଏହି ପ୍ରକ୍ରିୟା ପୂର୍ବରୁ ବସ୍ତୁତ୍ୱ ସଂଖ୍ୟା ଏବଂ ପରମାଣବିକ ସଂଖ୍ୟା ଯାହା ଥାଏ ପ୍ରକ୍ରିୟା ପରେ, ତାର ପରିବର୍ତ୍ତନ ହୁଏ ନାହିଁ । ଏହି ପ୍ରକ୍ରିୟାକୁ ଏକ ସମୀକରଣ ସାହାଯ୍ୟରେ ପ୍ରକାଶ କରାଯାଇପାରେ ।



$$_7N^{14}+{}_2He^4 \rightarrow {}_9F^{18} \rightarrow {}_8O^{17}+{}_1H^1 \qquad (6.9)$$

ଏଠାରେ ମନେ ରଖିବାକୁ ହେବ ଯେ ସମୀକରଣର ପ୍ରତ୍ୟେକ ରାଶିର ବାମର ନିମ୍ନକୁ ଲେଖା ଯାଇଥିବା ସଂଖ୍ୟାଟି ହେଉଛି ପରମାଣବିକ ସଂଖ୍ୟା (Atomic number) ଓ ଡାହାଣର ଊର୍ଦ୍ଧ୍ୱକୁ ଲେଖା ଯାଇଥିବା ସଂଖ୍ୟାଟି ହେଉଛି ବସ୍ତୁତ୍ୱ ସଂଖ୍ୟା (Mass number) ।

୧୧ । ଶକ୍ତିଶାଳୀ କଣିକାର ଉତ୍ପାଦନ (Production of High energy Particles)

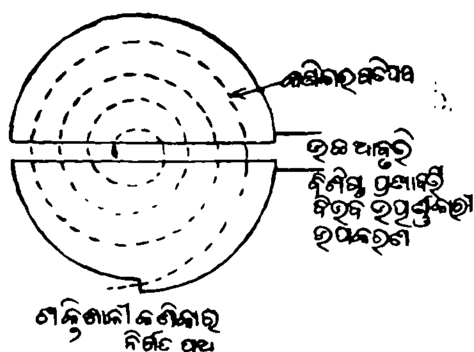
ନାଇଟ୍ରୋଜେନ୍ ପରମାଣୁର କୃତ୍ରିମ ବିଘଟନ (artificial disintegration) ର ଉଦ୍‌ଭାବନ ପରେ ଅନ୍ୟ ପରମାଣୁ ସହିତ α ରଶ୍ମିର ସଂଘଟନ (collision) କରାଇ ବିଭିନ୍ନ ପ୍ରକାରର କୃତ୍ରିମ ବିଘଟନ କରାଯାଇ ପାରିଲା । α ରଶ୍ମି ଦ୍ୱାରା ଭାରି ପରମାଣୁଗୁଡ଼ିକର କୃତ୍ରିମ ବିଘଟନ ସମ୍ଭବ ହେଲା ନାହିଁ । α ରଶ୍ମି ଓ ନିଉକ୍ଲିୟସ ସମଜାତୀୟ ବିଦ୍ୟୁତ ଯୁକ୍ତ ହୋଇ ଥିବାରୁ ଉଭୟେ ପରସ୍ପର ଦ୍ୱାରା ବିକର୍ଷିତ ହୁଅନ୍ତି । ବଡ଼ ନିଉକ୍ଲିୟସ ଓ α ରଶ୍ମି ମଧ୍ୟରେ ବିକର୍ଷଣ ବଳ ଅତ୍ୟଧିକ ହେବାରୁ α ରଶ୍ମି ଭାରି ନିଉକ୍ଲିୟସ ଭିତରେ ପ୍ରବେଶ କରିପାରେ ନାହିଁ । ତେଣୁ ଭାରି ନିଉକ୍ଲିୟସର କୃତ୍ରିମ ବିଘଟନ ହୋଇପାରେ ନାହିଁ । ପ୍ରୋଟନର ଚାର୍ଜ ପରିମାଣ α ରଶ୍ମିର ଚାର୍ଜ ପରିମାଣର ଏବଂ ଓଜନର 4 ଭାଗରୁ ଏକ ଭାଗ ହୋଇ ଥିବାରୁ ଏହା ବଡ଼ ନିଉକ୍ଲିୟସର କୃତ୍ରିମ ବିଘଟନ ପାଇଁ ଅଧିକ ଉପଯୁକ୍ତ ବୋଲି ବିବେଚନା କରାଗଲା । ପ୍ରୋଟନର ଗତି ଶକ୍ତି ଯେତେ ଅଧିକ ହେବ ଏହା ସେତେ ସହଜରେ ନିଉକ୍ଲିୟସର ବୈଦ୍ୟୁତିକ

ବିକର୍ଷଣ ବଳକୁ ଅତିକ୍ରମ କରି ନିଉକ୍ଲିୟସ ଭିତରେ ପଶି ଯାଇ ବିଘଟନ ସୃଷ୍ଟି କରି ପାରିବ । ତେଣୁ ବିଘଟନ ପାଇଁ ଶକ୍ତିଶାଳୀ ପ୍ରୋଟନ୍ ମିଳିବା ଦରକାର ।

1930 ମସିହାରେ କକ୍‌କ୍ରଫ୍‌ଟ (Cockcroft) ଏବଂ ୱାଲ୍‌ଟନ୍ (Walton) ପ୍ରୋଟନ୍‌କୁ 700 କି: ଭୋ: ବିଭବାନ୍ତର (Potential difference) ଦ୍ୱାରା ତ୍ୱରିତ (acclerate) କରାଇ ଶକ୍ତିଶାଳୀ ପ୍ରୋଟନ୍ ପାଇ ପାରିଥିଲେ । ଚାର୍ଜ କଣିକାର ଶକ୍ତିକୁ ସାଧାରଣତଃ ଇ: ଭୋ: ରେ ପ୍ରକାଶ କରାଯାଏ । ଇଲେକ୍‌ଟ୍ରନ୍ ଏକ ଭୋଲ୍‌ଟ ବିଭବାନ୍ତର ଦ୍ୱାରା ତ୍ୱରିତ ହୋଇ ଯେଉଁ ଶକ୍ତି ଗ୍ରହଣ କରେ ତାକୁ ଏକ ଇ: ଭୋ କହନ୍ତି । କକ୍‌କ୍ରଫ୍‌ଟ (Cockcroft) ଏବଂ ୱାଲ୍‌ଟନ (Walton) ମି: ଇ: ଭୋ: ଶକ୍ତିଶାଳୀ ପ୍ରୋଟନ୍ ସୃଷ୍ଟି କରିବାକୁ କ୍ଷମ ହୋଇଥିଲେ ।

1930 ମସିହାରେ ଇ. ଓ. ଲରେନ୍ସ (E. O. Lawrence) ନାମକ ଜଣେ ବୈଜ୍ଞାନିକ ଅନ୍ୟ ଏକ ନୂତନ ଉପାୟରେ ଅତି ଶକ୍ତିଶାଳୀ ପ୍ରୋଟନ୍ କିମ୍ବା ଆୟନ ପ୍ରସ୍ତୁତ କରି ପାରିଥିଲେ । ତାହାକୁ ସାଇକ୍ଲୋଟ୍ରନ୍ (Cyclotron) କୁହାଯାଏ । ସାଇକ୍ଲୋଟ୍ରନ୍‌ର ପ୍ରଧାନ ଅଂଶ ହେଲା ଦୁଇଟି ଅର୍ଦ୍ଧ ବୃତ୍ତାକାର ପୋଲା ଧାତୁ ନିର୍ମିତ ବାକ୍ସ । ଏହା ପରସ୍ପରଠାରୁ ବିଦ୍ୟୁତ ରୋଧୀ (Insulator) ଦ୍ୱାରା ଅଲଗା ରଖା ଯାଇଥାଏ । ଏହି ବାକ୍ସ ଦୁଇଟିକୁ ଏକ ଶକ୍ତିଶାଳୀ ଚୁମ୍ବକ କ୍ଷେତ୍ର ମଧ୍ୟରେ ରଖା ଯାଇଥାଏ । ଚିତ୍ରରେ ଚୁମ୍ବକ କ୍ଷେତ୍ର ଦର୍ଶା ଯାଇ ନାହିଁ କିନ୍ତୁ ଏହା କାଗଜକୁ ଲମ୍ବ ଭାବରେ ରଖା ଯାଇଅଛି । ଏହି ଅବସ୍ଥାରେ ଏକ ଗତିଶୀଳ ଚାର୍ଜ କଣିକା ସାଇକ୍ଲୋଟ୍ରନ୍ କେନ୍ଦ୍ରରେ ଛାଡ଼ି ଦିଆଗଲେ ତାହା ଏକ ବାକ୍ସ ମଧ୍ୟରେ ଅର୍ଦ୍ଧ ବୃତ୍ତାକାର ପଥରେ ଗତି କରିବାକୁ ଲାଗିବ । ଏହା ଏକ କୋଠରିରୁ ଅନ୍ୟ କୋଠରିକୁ ଯିବା ସମୟରେ ବିଦ୍ୟୁତ କ୍ଷେତ୍ର ଦେଇ ତ୍ୱରିତ କରା ହୁଏ । ତେଣୁ ଏହା ଦ୍ୱିତୀୟ କୋଠରିରେ ପୁଣି

ସାଇକ୍ଲୋଟ୍ରନର ଚିତ୍ର



ଚିତ୍ର (6.7)

ବିନ୍ଦୁର ଅର୍ଦ୍ଧ ବୃତ୍ତାକାର ପଥରେ ଗତି କରିବାକୁ ଲାଗେ । କିନ୍ତୁ ଏହାର ବେଗ ବଢ଼ି ଯାଇଥିବାରୁ ବୃତ୍ତାକାର ପଥର ବ୍ୟାସାର୍ଦ୍ଧ ବଢ଼ି ଯାଇଥାଏ । ଏହିପରି ଭାବରେ ଏହା ଏକ କୋଠରିରୁ ଅନ୍ୟ କୋଠରିକୁ ଯିବା ସମୟରେ ଏହାର ଶକ୍ତି ବୃଦ୍ଧି ହୁଏ । ଯଦି କୌଣସି କୋଠରିରେ ଚାର୍ଜ କଣିକାର ଅର୍ଦ୍ଧ ବୃତ୍ତାକାର ପଥର ବ୍ୟାସାର୍ଦ୍ଧ r ହୁଏ, ତେବେ

$$\frac{mv^2}{r}=qBv \quad \text{ବା} \quad r=\frac{mv}{Bq} \qquad (6.10)$$

ଯେଉଁଠାରେ v=କଣିକାର ପରିବେଗ

B=ଚୁମ୍ବକ କ୍ଷେତ୍ର

q=କଣିକାର ଚାର୍ଜ

ଯଦି ଅର୍ଦ୍ଧ ବୃତ୍ତକୁ ଅତିକ୍ରମ କରିବା ପାଇଁ କଣିକାକୁ $\frac{T}{2}$ ସମୟ ଲାଗେ, ତେବେ

$$\frac{T}{2}=\frac{\pi r}{v}=\frac{m\pi}{Bq} \qquad (6.11)$$

ତେଣୁ ସମୟ କଣିକାର ପରିବେଗ ବା ଅର୍ଦ୍ଧ ବୃତ୍ତର ବ୍ୟାସାର୍ଦ୍ଧ ଉପରେ ନିର୍ଭର କରେ ନାହିଁ । ତେଣୁ ଉଚ୍ଚ ଆବୃତ୍ତି ବିଶିଷ୍ଟ ଏକ ପ୍ରତ୍ୟାବର୍ତ୍ତୀ ବିଭବ (Alternating Potential) ସାହାଯ୍ୟରେ ଚାର୍ଜ କଣିକାକୁ ତ୍ୱରିତ କରାଯାଏ । ଚାର୍ଜ କଣିକାଟି ଥରକୁ ଥର ତ୍ୱରିତ ହୋଇ ଏକ ପ୍ରକାର ସର୍ପିଳ (Spiral) ପଥ ଦେଇ ଗତି କରେ । ଏହିପରି ଭାବରେ ଅନେକ ଥର ବୁଲି କଣିକାଟି ପ୍ରଚୁର ଶକ୍ତି ସଂଗ୍ରହ କରିବା ପରେ ଚୁମ୍ବକ ଶକ୍ତି ଲଗାଇ ବାହାରକୁ ଅଣାଯାଏ ।

ସାଇକ୍ଲୋଟ୍ରନ୍ ସାହାଯ୍ୟରେ ପ୍ରୋଟନ୍ ଡିଉଟ୍ରନ୍ (Deuteron) ଓ α ରଶ୍ମି ପ୍ରଭୃତି ଚାର୍ଜ କଣିକାଗୁଡ଼ିକୁ ତ୍ୱରିତ କରାଯାଇପାରେ । ଶକ୍ତିଶାଳୀ ସାଇକ୍ଲୋଟ୍ରନ୍ ସାହାଯ୍ୟରେ 10 ମି: ଇ: ଭୋ: ପ୍ରୋଟନ୍ 20 ମି: ଇ: ଭୋ:ର ଡିଉଟ୍ରନ୍ ଓ 40 ମି: ଇ: ଭୋ:ର α ରଶ୍ମି ପ୍ରସ୍ତୁତ କରାଯାଇପାରେ ।

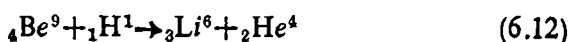
ହିସାବରୁ ଜଣାଯାଏ 4.7 ମି: ଇ: ଭୋ: ଶକ୍ତି ବିଶିଷ୍ଟ ପ୍ରୋଟନ୍‌ର ପରିବେଗ ଆଲୋକର ପରିବେଗର 10 ଭାଗରୁ ଏକ ଭାଗ । ତେଣୁ ଏହାର ବସ୍ତୁତ୍ୱ ବୃଦ୍ଧି ହୋଇଥାଏ । କଣିକାର ଘୂର୍ଣ୍ଣନ ସମୟ ବସ୍ତୁତ୍ୱ ଉପରେ ନିର୍ଭର କରୁଥିବାରୁ ଘୂର୍ଣ୍ଣନ ସମୟ ବଢ଼ିଯାଏ । ତେଣୁ ଏହା ପ୍ରତ୍ୟାବର୍ତ୍ତୀ ବିଭବାନ୍ତର ଦ୍ୱାରା ଠିକ୍ ଭାବରେ ତ୍ୱରିତ ହୋଇପାରେ ନାହିଁ । ଏଥି ଯୋଗୁ ସାଇକ୍ଲୋଟ୍ରନ୍ ସାହାଯ୍ୟରେ ମିଳୁଥିବା ଶକ୍ତିଶାଳୀ ପ୍ରୋଟନର ଶକ୍ତି ସୀମିତ ।

ଏହି ଅସୁବିଧା ସିଂକ୍ରୋସାଇକ୍ଲୋଟ୍ରନ୍‌ରେ (Synchrocyclotron) ଦୂର ହୋଇଥାଏ । ପ୍ରଥମେ ବ୍ୟବହୃତ ହେଉଥିବା ପ୍ରତ୍ୟାବର୍ତ୍ତୀ ବିଭବାନ୍ତରର ଆବୃତ୍ତିକୁ $Bq/2\pi m_0$ କିଆଯାଏ । କଣିକାର ବସ୍ତୁତ୍ୱ ବୃଦ୍ଧି ସଙ୍ଗେ ସଙ୍ଗେ ପ୍ରତ୍ୟାବର୍ତ୍ତୀ ବିଭବାନ୍ତରର ଆବୃତ୍ତି ଅପେ ଅପେ କମିଯାଏ । ଏହା ସାହାଯ୍ୟରେ 500 ମି: ଇ: ଭୋ: ଶକ୍ତି ବିଶିଷ୍ଟ ଗୁରୁ କଣିକା ସୃଷ୍ଟି କରାଯାଇପାରେ । ସେହିପରି ବିଟାଟ୍ରନ୍ (Betatron) ସାହାଯ୍ୟରେ ଶକ୍ତିଶାଳୀ ଇଲେକଟ୍ରନ୍ ପ୍ରସ୍ତୁତ କରାଯାଇପାରେ । ଏହା ଦ୍ୱାରା 350 ମି: ଇ: ଭୋ: ଶକ୍ତି ବିଶିଷ୍ଟ ଇଲେକଟ୍ରନ୍ ମିଳିପାରେ । ଏକ ତ୍ୱରିତ ଇଲେକଟ୍ରନ୍ ବିଦ୍ୟୁତ ଚୁମ୍ବକୀୟ ତରଙ୍ଗ ବିକିରଣ କରୁଥିବାରୁ ଅତି ବେଶୀ ଶକ୍ତି ବିଶିଷ୍ଟ ଇଲେକଟ୍ରନ୍ ପ୍ରସ୍ତୁତ କରାଯାଇପାରେ ନାହିଁ ।

୬ । ତ୍ୱରିତ କଣିକା ଦ୍ୱାରା ବିଘଟନ (Disintegration by accelerated Particles)

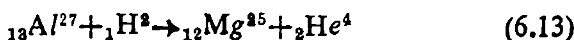
ବିଭିନ୍ନ ତ୍ୱରିତ କଣିକା ଦ୍ୱାରା ନିଉକ୍ଲିୟସର ବିଘଟନ ସମ୍ଭବ ହୋଇଥାଏ । ତଳେ କେତୋଟି ବିଘଟନର ଉଦାହରଣ ଦିଆ ଯାଇଅଛି—

ପ୍ରୋଟନ୍—



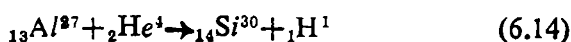
$${}_4Be^9 + {}_1H^1 \rightarrow {}_3Li^6 + {}_2He^4 \qquad (6.12)$$

ଡିଉଟ୍ରନ୍—



$${}_{13}Al^{27} + {}_1H^2 \rightarrow {}_{12}Mg^{25} + {}_2He^4 \qquad (6.13)$$

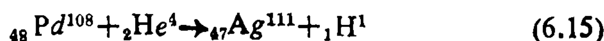
α ରଶ୍ମି—



$${}_{13}Al^{27} + {}_2He^4 \rightarrow {}_{14}Si^{30} + {}_1H^1 \qquad (6.14)$$

ବିଘଟନ ଦ୍ୱାରା ଉତ୍ପନ୍ନ ହେଉଥିବା ନିଉକ୍ଲିୟସଗୁଡ଼ିକ ବେଳେ ବେଳେ ତେଜସ୍କ୍ରିୟ ହୋଇଥା'ନ୍ତି । ସେଗୁଡ଼ିକୁ କୃତ୍ରିମ ତେଜସ୍କ୍ରିୟ ପରମାଣୁ କୁହାଯାଏ । ସେହି ପରମାଣୁଗୁଡ଼ିକ α କିମ୍ବା β ରଶ୍ମି ବିକିରଣ କରି ଅନ୍ୟ ଏକ ସ୍ଥାୟୀ ପରମାଣୁରେ ପରିବର୍ତ୍ତିତ ହୁଅନ୍ତି । ସେଗୁଡ଼ିକର ଅର୍ଦ୍ଧାୟୁ କାଳ ମଧ୍ୟ ନିର୍ଦ୍ଦିଷ୍ଟ ।

ଉଦାହରଣ—



$${}_{46}Pd^{108} + {}_2He^4 \rightarrow {}_{47}Ag^{111} + {}_1H^1 \qquad (6.15)$$



$${}_{47}Ag^{111} \rightarrow {}_{48}cd^{111} + {}_{-1}e^0$$

ଏହାର ଅର୍ଦ୍ଧାୟୁ କାଳ 7.5 ଦିନ ।

୧୩ । ବିଘଟନ ସମୟରେ ବସ୍ତୁତ୍ୱ ଏବଂ ଶକ୍ତିର ରୂପାନ୍ତର

(Transformation of Mass and energy during disintegration)

ନିଉକ୍ଲିୟାର ପ୍ରକ୍ରିୟା ସମୟରେ ଶକ୍ତିର ବିନାଶ ହୁଏ ଓ ଉତ୍ପତ୍ତି ହୁଏ । ସେଥିଯୋଗୁ ବସ୍ତୁତ୍ୱର ହ୍ରାସ କିମ୍ବା ବୃଦ୍ଧି ହୁଏ । ବସ୍ତୁତ୍ୱର ବିନାଶ ହେଲେ ଶକ୍ତିର ଉତ୍ପତ୍ତି ହୁଏ । ପରମାଣୁର ଓଜନ ପ୍ରାୟ 10^{-22} ଗ୍ରାମ୍ ହୋଇ ଥିବାରୁ ପରମାଣୁର ଓଜନକୁ ପ୍ରକାଶ କରିବା ପାଇଁ ଅନ୍ୟ ଏକ ଏକକ ବ୍ୟବହାର କରାଯାଏ । ତାହାକୁ ପରମାଣବିକ ବସ୍ତୁତ୍ୱ ଏକକ (Atomic mass unit) କୁହାଯାଏ । ଏହାର ପରିମାଣ ଅକ୍ସିଜେନ୍ ପରମାଣୁ ବସ୍ତୁତ୍ୱର 16 ଭାଗରୁ ଏକ ଭାଗ କିମ୍ବା 1 ଅ. ମା. ଇ.$=1.66\times10^{-24}$ ଗ୍ରାମ୍ । ଯଦି 1 ଅ. ମା. ଇ. ପରିମାଣର ବସ୍ତୁ ଶକ୍ତିରେ ପରିଣତ ହୁଏ, ତେବେ ଉତ୍ପନ୍ନ ହେଉଥିବା ଶକ୍ତିର ପରିମାଣ ହେଲା $E=\Delta mc^2=1.660\times10^{-24}$ (ଗ୍ରାମ୍) $\times$

(2.998×10^{10} ସେ:ମି:/ସେକେଣ୍ଡ)^2

$=14.94\times10^{-4}$ ଅର୍ଗ $=14.94\times10^{-11}$ ଯୁଲ୍

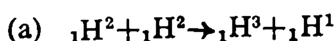
ଆମେ ଜାଣୁ 1 ମି. ଇ. ଭୋ:$=1.602\times10^{-13}$ ଯୁଲ୍

ତେଣୁ 1 ଅ. ମା. ଇ.$=\dfrac{14.94\times10^{-11}}{1.602\times10^{-13}}$ ମି. ଇ. ଭୋ.

$=931.$ ମି. ଇ. ଭୋ.

ଉଦାହରଣ—

ନିମ୍ନରେ ଦିଆଯାଇଥିବା ନିଉକ୍ଲିୟାର ପ୍ରକ୍ରିୟାରେ ଶକ୍ତିର ହ୍ରାସ କିମ୍ବା ବୃଦ୍ଧିର ପରିମାଣ ନିର୍ଣ୍ଣୟ କର :—



(a) ${}_1H^2+{}_1H^2\rightarrow{}_1H^3+{}_1H^1$



(b) ${}_7N^{14}+{}_2He^4\rightarrow{}_8O^{17}+{}_1H^1$

(a) $2({}_1H^2)$ ର ବସ୍ତୁତ୍ୱ ହେଲା$=2\times2.015=4.03$ ଅ. ମ. ଇ.

${}_1H^3$ ଓ ${}_1H^1$ ର ବସ୍ତୁତ୍ୱ ହେଲା$=3.017+1.008=4.025$

ବସ୍ତୁତ୍ୱର ହ୍ରାସ$=4.03-4.025=.005$ ଅ. ମ. ଇ.

ତେଣୁ ଉତ୍ପନ୍ନ ଶକ୍ତିର ପରିମାଣ

$=.005\times931=4.655$ ମି. ଇ. ଭୋ.

(b) α ରଶ୍ମି ଓ $_7N^{14}$ର ବସ୍ତୁତ୍ୱ ହେଲା

14.0075+4.0039=18.0114 ଅ. ମ. ଇ.

ଏବଂ $_8O^{17}$ ଓ $_1H^1$ ର ବସ୍ତୁତ୍ୱ ହେଲା

17.0045+1.0081=18.0126 ଅ. ମା. ଇ.

ତେଣୁ ଏହି ପ୍ରକ୍ରିୟାରେ ବସ୍ତୁତ୍ୱର ବୃଦ୍ଧିର ପରିମାଣ

18.0126−18.0114=.0012 ଅ. ମା. ଇ.

ତେଣୁ ଶକ୍ତି ହ୍ରାସର ପରିମାଣ=.0012×931

=1.12 ମି. ଇ. ଭୋ.

ଅନ୍ୟ କେତେକ ବିଘଟନରେ γ ରଶ୍ମି ବିକିରଣ ହୋଇଥାଏ । ଉଦାହରଣ ସ୍ୱରୂପ

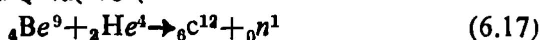


$$_3Li^7+{}_1H^1 \rightarrow {}_4Be^8+h\nu \qquad (6.16)$$

୧୪ । ନିଉଟ୍ରନ୍‌ର ଉଦ୍‌ଭାବନ (Discovery of Neutron)

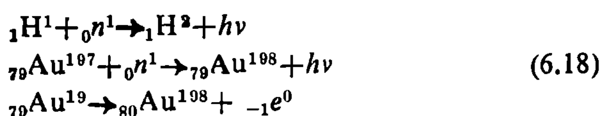
1930 ମସିହାରେ ବେଥେ (Bethe) ଏବଂ ବେକର (Beaker) α ରଶ୍ମି ଓ ବେରିଲିୟମର (Beryllium) ସଂଘଟ୍ଟନ (Collision) ଫଳରେ ଏକ ନୂତନ ଶକ୍ତିଶାଳୀ ଅନ୍ତର୍ଭେଦୀ (Penetrating) ବିକିରଣ ସୃଷ୍ଟି ହେଉଥିବାର ଦେଖିଲେ । ଏହି ବିକିରଣ ଉପରେ ଚୁମ୍ବକ କ୍ଷେତ୍ର ଓ ବିଦ୍ୟୁତ କ୍ଷେତ୍ରର ପ୍ରଭାବ ନ ଥିବାରୁ ଏହାକୁ γ ରଶ୍ମି ବୋଲି ଧରି ନିଆଗଲା । ଏହି γ ରଶ୍ମିର ଶକ୍ତି ପ୍ରାୟ 10 ମି: ଇ: ଭୋ: । ଏହାର ବସ୍ତୁତ୍ୱ ବେରିଲିୟମ୍ ଓ α ରଶ୍ମିର ସଂଘଟ୍ଟନ ସମୟରେ ବିନାଶ ହେଉଥିବା ଶକ୍ତି ସହିତ ପ୍ରାୟ ସମାନ । କିନ୍ତୁ 1932 ମସିହାରେ କ୍ୟୁରୀ (Curie) ଏବଂ ଯୋଲିଓଟ୍ (Joliot) ଦେଖିଲେ ଯେ ଏହି ବିକିରଣ ଉଦ୍‌ଜାନ ଥିବା ପଦାର୍ଥ ଦେଇ ଅତିକ୍ରମ କଲେ ଅଧିକ ଆୟନୀକରଣ କରି ପାରୁଛି । କିନ୍ତୁ ହାଇଡ୍ରୋଜେନ୍ ନ ଥିବା ପଦାର୍ଥ ଦେଇ ଅତିକ୍ରମ କଲେ ଆୟନୀକରଣ କରି ପାରୁ ନାହିଁ । ଏହିଥିରୁ ଜଣାଯାଏ ଯେ ପରମାଣୁ ସହିତ ସଂଘଟ୍ଟନ ଫଳରେ ଏକ ପ୍ରୋଟନ୍ ନିର୍ଗତ ହୁଏ ଓ ଏହି ପ୍ରୋଟନ୍ ଅଧିକ ଆୟନୀକରଣ କରିଥାଏ । ପଦାର୍ଥରେ ଉଦ୍‌ଜାନ ପରମାଣୁ ନ ଥିଲେ ପ୍ରୋଟନ୍ ନିର୍ଗତ ହୁଏ ନାହିଁ, ତେଣୁ ଆୟନୀକରଣ ହୁଏ ନାହିଁ । କିନ୍ତୁ ସେହି ପରିମାଣର ଆୟନୀକରଣ ପାଇଁ 50 ମି. ଇ. ଭୋ. ଶକ୍ତି ବିଶିଷ୍ଟ γ ରଶ୍ମି ଦରକାର ।

ଚ୍ୟାଡୱିକ (Chadwick) ପରୀକ୍ଷାରୁ ଜାଣିଲେ ଯେ ବିକିରଣକୁ ଯଦି ପ୍ରୋଟନ୍‌ର ବସ୍ତୁତ୍ୱ ସଙ୍ଗେ ସମାନ ହୋଇଥିବା ଏକ ଚାର୍ଜ ଶୂନ୍ୟ କଣିକା ବୋଲି ଧରି ନିଆଯାଏ, ତେବେ ଉପରୋକ୍ତ ଅସୁବିଧା ଅତି ସହଜରେ ଦୂର ହୋଇଯିବ । ଏହି ନୂତନ କଣିକାର ନାମ ନ୍ୟୁଟ୍ରନ୍ (Neutron) ଏବଂ ନ୍ୟୁକ୍ଲିୟାର ପ୍ରକ୍ରିୟାଟି ନିମ୍ନମତେ ପ୍ରକାଶ କରାଯାଇପାରେ



$$_4Be^9 + _2He^4 \rightarrow _6c^{12} + _0n^1 \qquad (6.17)$$

ନ୍ୟୁଟ୍ରନ୍ ଚାର୍ଜ ଶୂନ୍ୟ ହୋଇଥିବାରୁ ଏହା ଅତ୍ୟନ୍ତ ଅନ୍ତର୍ଭେଦୀ ଏବଂ ମେଘ କୋଠରିରେ ପଥ (Track) ସୃଷ୍ଟି କରିପାରେ ନାହିଁ । କାରଣ ଚାର୍ଜ କଣିକା-ଗୁଡ଼ିକ କୁଲମ୍ବ ବଳ ଯୋଗୁ ଆୟନୀକରଣ କରିପାରନ୍ତି ଓ ବେଶୀ ଦୂର ଯାଇ ପାରନ୍ତି ନାହିଁ । ନ୍ୟୁଟ୍ରନ୍ ଚାର୍ଜ ଶୂନ୍ୟ ହୋଇ ଥିବାରୁ ତାହା ଅନ୍ୟ ନ୍ୟୁକ୍ଲିୟସ ଦ୍ୱାରା ଆକର୍ଷିତ ବା ବିକର୍ଷିତ ହୁଏ ନାହିଁ । ତେଣୁ ଅଳ୍ପ ଶକ୍ତି ବିଶିଷ୍ଟ ନ୍ୟୁଟ୍ରନ୍ ସହଜରେ ନ୍ୟୁକ୍ଲିୟସ ଭିତରକୁ ପ୍ରବେଶ କରି ନ୍ୟୁକ୍ଲିୟାର ପ୍ରକ୍ରିୟା କରିପାରେ । ନିମ୍ନରେ କେତେକ ଉଦାହରଣ ଦିଆଗଲା ।



$$_1H^1 + _0n^1 \rightarrow _1H^2 + h\nu$$
$$_{79}Au^{197} + _0n^1 \rightarrow _{79}Au^{198} + h\nu \qquad (6.18)$$
$$_{79}Au^{19} \rightarrow _{80}Au^{198} + _{-1}e^0$$

୧୫ । କସମିକ୍ ରଶ୍ମି (Cosmic rays)

1900 ମସିହାରେ ପରୀକ୍ଷାରୁ ଜଣାଗଲା ଯେ ପୃଥିବୀର ବାୟୁ ମଣ୍ଡଳର ଉପରି ଭାଗ ସବୁବେଳେ ଆୟନିତ ଅବସ୍ଥାରେ ଥାଏ । ପ୍ରଥମେ କଳ୍ପନା କରା ଯାଇଥିଲା ଯେ ପୃଥିବୀ ପୃଷ୍ଠରୁ ହେଉଥିବା ବିକିରଣ ଯୋଗୁ ବାୟୁ ମଣ୍ଡଳର ଆୟନୀକରଣ ହୋଇଥାଏ । କିନ୍ତୁ 1910 ମସିହାରେ ଗୋକେଲ (Gockel) ପ୍ରକାଶ କଲେ ବାୟୁ ମଣ୍ଡଳର ଆୟନୀକରଣର ପରିମାଣ ପୃଥିବୀ ପୃଷ୍ଠରୁ ଦୂରତା ଉପରେ ନିର୍ଭର କରୁଅଛି ଏବଂ ଦୂରତା ବଢ଼ିଲେ ଆୟନୀକରଣର ପରିମାଣ ବଢ଼ୁଛି । ତେଣୁ ଏହିଥିରୁ ଜଣାଗଲା ଯେ ପୃଥିବୀର ବାୟୁ ମଣ୍ଡଳ, ବାହାରୁ ଆସୁଥିବା କୌଣସି ବିକିରଣ ଦ୍ୱାରା ଆୟନୀକୃତ ହେଉଛି । ଏହି ବିକିରଣକୁ କସ୍‌ମିକ୍ ରଶ୍ମି ବୋଲି କୁହାଗଲା ।

ବିଭିନ୍ନ ପରୀକ୍ଷାରୁ ଜଣାଗଲା କସ୍‌ମିକ୍ ରଶ୍ମି ଅତ୍ୟନ୍ତ ଅନ୍ତର୍ଭେଦୀ (Penetrating) ଏପରିକି ଏହା କୌଣସି ଗଭୀର ହ୍ରଦର ନିମ୍ନକୁ ଯାଇପାରେ । ପ୍ରଥମେ ଏହାକୁ ଏକ ପ୍ରକାର ଉଚ୍ଚ ଆବୃତ୍ତି ବିଶିଷ୍ଟ ବିଦ୍ୟୁତ ଚୁମ୍ବକୀୟ ତରଙ୍ଗ

ବୋଲି ଧରି ନିଆ ଯାଇଥିଲା । କିନ୍ତୁ ଦେଖାଗଲା ଯେ କସ୍‌ମିକ୍ ରଶ୍ମିର ପରିମାଣ ପୃଥିବୀର ଅକ୍ଷାଂଶ (Latitude) ଉପରେ ନିର୍ଭର କରୁଛି । ଏଥିରୁ ଜଣାଗଲା ଏହା ଏକ ପ୍ରକାର ଶକ୍ତି ଯୁକ୍ତ କଣିକା ଓ ଏହା ପୃଥିବୀର ଚୁମ୍ବକ କ୍ଷେତ୍ର ଦ୍ୱାରା ପ୍ରଭାବିତ ହେଉଛି । ଏହି କଣିକାଗୁଡ଼ିକ ବାୟୁ ମଣ୍ଡଳରେ ଗତି କଲାବେଳେ ବିଭିନ୍ନ ପ୍ରକ୍ରିୟା ସୃଷ୍ଟି କରୁଥିବାରୁ ଏହାକୁ ଚିହ୍ନିବା କଷ୍ଟକର । ତେବେ ନେତେଦୂର ଜଣାଯାଏ ଏହା ପ୍ରୋଟନ୍ ଏବଂ ନିଉକ୍ଲିୟସ ପରି ଏକ ପ୍ରକାର ଧନାତ୍ମକ ଶକ୍ତି ଯୁକ୍ତ କଣିକା ।

୧୬ । ପଜିଟ୍ରନ୍ (Positron)

1932 ମସିହାରେ ସି. ଡି. ଆଣ୍ଡରସନ ନାମକ ଜଣେ ବୈଜ୍ଞାନିକ ମେଘ କୋଠରିକୁ ଏକ ଶକ୍ତିଶାଳୀ ଚୁମ୍ବକ କ୍ଷେତ୍ର ମଧ୍ୟରେ ରଖି କସ୍‌ମିକ୍ ରଶ୍ମି ଉପରେ ଗବେଷଣା କରୁଥିବା ସମୟରେ ମେଘ କୋଠରି ଭିତରେ କେତେକ ଯୁଗ୍ମପଥ (Pair of tracks) ଦେଖି ପାରିଲେ । ଏକ ଯୁଗ୍ମପଥ ମଧ୍ୟରୁ ଗୋଟିଏ ଇଲେକ୍‌ଟ୍ରନ୍‌ର ପଥ ବୋଲି ଜଣାଗଲା ଏବଂ ଅନ୍ୟଟି ବିପରୀତ ଦିଗରେ ଗତି କରୁଥିବାରୁ ଏହା ଧନାତ୍ମକ ଶକ୍ତି କଣିକା ବୋଲି ଜଣାଗଲା ଓ ଏହାର ଓଜନ ଇଲେକଟ୍ରନ୍‌ର ଓଜନ ସହିତ ସମାନ । ଏହି କଣିକାକୁ ପଜିଟ୍ରନ୍ (Positron) ବୋଲି କୁହାଗଲା ।

ପଜିଟ୍ରନ୍ କସ୍‌ମିକ୍ ରଶ୍ମି ପ୍ରକ୍ରିୟା ସମୟରେ ଓ ପରମାଣୁ ବିଘଟନ ସମୟରେ ସୃଷ୍ଟି ହୁଏ କିନ୍ତୁ ସେଗୁଡ଼ିକର ଅର୍ଦ୍ଧାୟୁ କାଳ ଅତି କମ ହୋଇଥିବାରୁ ସେଗୁଡ଼ିକ ସବୁବେଳେ ମିଳନ୍ତି ନାହିଁ । ଇଲେକଟ୍ରନ୍ ଓ ପଜିଟ୍ରନ୍ ଏକାଠି ମିଳିତ ହୋଇ ଫୋଟନ୍ ସୃଷ୍ଟି କରି ପାରନ୍ତି । ବେଳେ ବେଳେ ମଧ୍ୟ ଏକ ଫୋଟନ୍ ଗୋଟିଏ ପଜିଟ୍ରନ୍ ଓ ଏକ ଇଲେକଟ୍ରନ୍ ସୃଷ୍ଟି କରିଥାଏ ।

$$_{+1}e^0 + _{-1}e^0 \rightleftharpoons h\nu \qquad (6.19)$$

୧୭ । ନିଉକ୍ଲିୟସର ଗଠନ (Formation of a nucleus)

ପ୍ରତ୍ୟେକ ନିଉକ୍ଲିୟସ କେତେକ ନିଉଟ୍ରନ୍ ଓ ପ୍ରୋଟନକୁ ନେଇ ଗଠିତ । ନିଉକ୍ଲିୟସର ଶକ୍ତିର ପରିମାଣ ପ୍ରୋଟନଗୁଡ଼ିକର ଶକ୍ତିର ପରିମାଣ ସହିତ ସମାନ ଓ ନିଉକ୍ଲିୟସର ବସ୍ତୁତ୍ୱର ପରିମାଣ ପ୍ରୋଟନ ଓ ନିଉଟ୍ରନ୍‌ର ବସ୍ତୁତ୍ୱର ସମଷ୍ଟି ସହିତ ପ୍ରାୟ ସମାନ । କୌଣସି ନିଉକ୍ଲିୟସର ପ୍ରୋଟନ

ସଂଖ୍ୟା ନିର୍ଦ୍ଦିଷ୍ଟ ଥାଇ ନିଉଟ୍ରନ୍ ସଂଖ୍ୟା କମ୍ ବା ବେଶୀ ହେଲେ ନୂତନ ନିଉକ୍ଲିୟସକୁ ମୂଳ ନିଉକ୍ଲିୟସର ଆଇସୋଟୋପ କୁହାଯାଏ । ଉଦାହରଣ ସ୍ୱରୂପ ଉଦ୍‌ଜାନ ନିଉକ୍ଲିୟସରେ ଗୋଟିଏ ନିଉଟ୍ରନ୍ ରହିଲେ ତାହାକୁ ଡିଟ୍ରିୟମ୍ ଓ ଦୁଇଟି ନିଉଟ୍ରନ୍ ରହିଲେ ଟ୍ରିଟିୟମ୍ କୁହାଯାଏ । ଡିଟ୍ରିୟମ୍ ଓ ଟ୍ରିଟିୟମ୍ ପ୍ରତ୍ୟେକ ଉଦଜାନର ଏକ ଆଇସୋଟୋପ୍ । ନିଉକ୍ଲିୟସ ଭିତରେ ଥିବା ପ୍ରୋଟନ ଓ ନିଉଟ୍ରନ୍ ପ୍ରତ୍ୟେକକୁ ନିଉକ୍ଲିୟନ (Nucleon) କହନ୍ତି ।

ପରୀକ୍ଷାରୁ ଜଣାଯାଏ ପ୍ରତ୍ୟେକ ସ୍ଥାୟୀ ନିଉକ୍ଲିୟସର ବସ୍ତୁତ୍ୱ ନିଉକ୍ଲିୟସ ଭିତରେ ଥିବା ପ୍ରୋଟନ୍ ଓ ନିଉଟ୍ରନ୍‌ର ବସ୍ତୁତ୍ୱର ସମଷ୍ଟିଠାରୁ ସାମାନ୍ୟ କମ୍ । ଉଦାହରଣ ସ୍ୱରୂପ—

ଡିଟ୍ରିୟମ୍‌ର ବସ୍ତୁତ୍ୱ < ପ୍ରୋଟନ୍‌ର ବସ୍ତୁତ୍ୱ
+ନିଉଟ୍ରନ୍‌ର ବସ୍ତୁତ୍ୱ

ତେଣୁ $\Delta m = m_D - m_P - m_n$

$= 2.01486 - 1.007593 - 1.008982$

$= .002\ 389$ ଆ. ମା. ଇ.

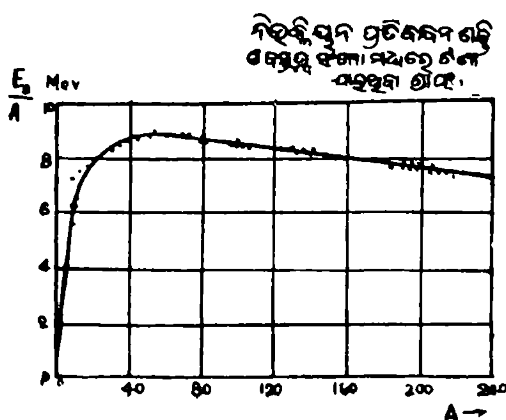
$= .002389 \times 931 = 2.225$ ମି. ଇ. ଭୋ.

ତେଣୁ ଗୋଟିଏ ପ୍ରୋଟନ୍ ଓ ନିଉଟ୍ରନ୍‌ର ମିଶ୍ରଣ ହେଲେ 2.22 ମି. ଇ. ଭୋ. ଶକ୍ତି ଉତ୍ପନ୍ନ ହୁଏ । ସେହି ପରିମାଣର ଶକ୍ତି ପ୍ରୟୋଗ କଲେ ଡିଟ୍ରିୟମ୍ ନିଉକ୍ଲିୟସରୁ ଏକ ନିଉଟ୍ରନ୍‌କୁ ବାହାର କରିଯାଇପାରେ । ଏହାକୁ ନିଉକ୍ଲିୟସର ବନ୍ଧନ ଶକ୍ତି (Binding energy) ଏବଂ ଯେଉଁ ବଳ ଦ୍ୱାରା ପ୍ରୋଟନ ନିଉଟ୍ରନ୍ ଏକାଠି ଥାଆନ୍ତି ତାହାକୁ ନିଉକ୍ଲିୟାର ବଳ କହନ୍ତି ।

ନିଉକ୍ଲିୟାର ବଳର ପ୍ରଭାବ ମାତ୍ର 10^{-13} ସେ.ମି. ପର୍ଯ୍ୟନ୍ତ ପଡ଼ିପାରେ । ଯଦି ଦୁଇଟି କଣିକାର ଦୂରତା 1.4×10^{-15} ମି. ହୁଏ, ତେବେ ନିଉକ୍ଲିୟାର ବଳର ପରିମାଣ ଅତ୍ୟନ୍ତ କମ୍ ହେବ । କିନ୍ତୁ ମାଧ୍ୟାକର୍ଷଣ ଓ କୁଲମ୍ବ ବଳର ପ୍ରଭାବ ବହୁ ଦୂର ପର୍ଯ୍ୟନ୍ତ ପଡ଼ିପାରେ ।

ନିଉକ୍ଲିୟନ୍ (Nucleon) ପ୍ରତିବନ୍ଧନ ଶକ୍ତି ଓ ନିଉକ୍ଲିୟନ ସଂଖ୍ୟା ମଧ୍ୟରେ ଗ୍ରାଫ୍ ଅଙ୍କନ କଲେ ନିଉକ୍ଲିୟାର ବଳର ଅନ୍ୟ ଏକ ଧର୍ମ ଜାଣି ହୁଏ । ଗ୍ରାଫ୍‌ରୁ ଜଣାଯାଏ ଶ୍ରେଷ୍ଠ ନିଉକ୍ଲିୟସଗୁଡ଼ିକୁ ଛାଡ଼ିଦେଲେ E/A ର ପରିମାଣ ଯେ କୌଣସି ନିଉକ୍ଲିୟସ ପାଇଁ ସମାନ (ଚିତ୍ର (6.8) ଦେଖ) । ଏହା ପ୍ରାପ୍ତ

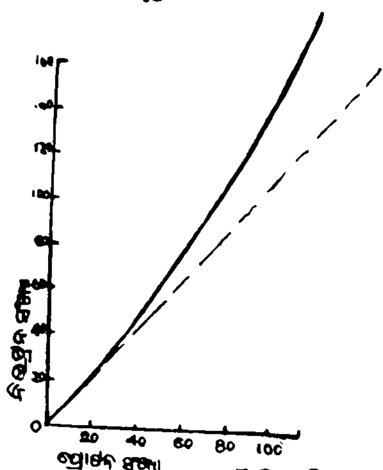
୪ ମି. ଇ. ଭୋ. ତେଣୁ $E_B \propto A$ । କିନ୍ତୁ କୁଲମ୍ବ ବଳ ପାଇଁ $E_B \propto A^2$ । ଏଥିରୁ ଜଣାଗଲା ଏକ ନିଉକ୍ଲିୟନ ତାର ଅତି ନିକଟରେ ଥିବା ଅନ୍ୟ ଏକ ନିଉକ୍ଲିୟସ ସହିତ ବନ୍ଧା ହୋଇଥାଏ ଓ ଅନ୍ୟ ଏକ ନିଉକ୍ଲିୟସଗୁଡ଼ିକର ପ୍ରଭାବ ତା ଉପରେ ପଡ଼େ ନାହିଁ। କିନ୍ତୁ ଏକ ଚାର୍ଜ କଣିକା ତାର ନିକଟରେ ଥିବା ଅନ୍ୟ ପ୍ରତ୍ୟେକ ଚାର୍ଜ କଣିକା ଦ୍ୱାରା ପ୍ରଭାବିତ ହୁଏ। ବର୍ତ୍ତମାନ ମିଳୁଥିବା ତଥ୍ୟରୁ ଜଣାଯାଏ ପ୍ରୋଟନ୍ ଓ ତା ମଧ୍ୟରେ



ଚିତ୍ର (୬.୪)

ଥିବା ନିଉକ୍ଲିୟାର ବଳ ନିଉଟ୍ରନ୍ ମଧ୍ୟରେ ଥିବା ନିଉକ୍ଲିୟାର ବଳ ସହିତ ସମାନ ଓ ପ୍ରତ୍ୟେକ ନିଉଟ୍ରନ ଓ ପ୍ରୋଟନ୍ ମଧ୍ୟରେ ଥିବା ବଳ ସହିତ ସମାନ।

ନିଉକ୍ଲିୟସ ଗଠନରୁ ଜଣାଯାଏ ଯେଉଁ ନିଉକ୍ଲିୟସଗୁଡ଼ିକର ପ୍ରୋଟନ୍ ଓ ନିଉଟ୍ରନ୍ ସଂଖ୍ୟା ଯୁଗ୍ମ (Even) ସେଗୁଡ଼ିକ ସ୍ଥାୟୀ କିନ୍ତୁ H^2, $_3Li^6$ $_5B^{10}$ ଏବଂ $_7N^{14}$ ନିଉକ୍ଲିୟସଗୁଡ଼ିକର ପ୍ରୋଟନ୍ ଓ ନିଉଟ୍ରନ୍ ସଂଖ୍ୟା ଅଯୁଗ୍ମ (odd) ହେଲେ ମଧ୍ୟ ସେଗୁଡ଼ିକ ସ୍ଥାୟୀ ଏବଂ ସେଗୁଡ଼ିକର ପ୍ରୋଟନ୍ ଓ ନିଉଟ୍ରନ୍ ସଂଖ୍ୟା ସମାନ। ନିଉକ୍ଲିୟସର ପ୍ରୋଟନ୍ ସଂଖ୍ୟା ଓ ନିଉଟ୍ରନ୍ ସଂଖ୍ୟା ମଧ୍ୟରେ ଗ୍ରାଫ୍ କାଟିଲେ ଜଣାଯାଏ ନିଉଟ୍ରନ୍ ଓ ପ୍ରୋଟନ୍‌ର ଅନୁପାତ z ବଢ଼ିବା ସଙ୍ଗେ ସଙ୍ଗେ ବଢ଼ି ଚାଲେ। ଏଥିରୁ ଜଣାଯାଏ ପ୍ରୋଟନ ସଂଖ୍ୟା ବଢ଼ିବା ସଙ୍ଗେ ସଙ୍ଗେ ସେମାନଙ୍କ ମଧ୍ୟରେ ବିକର୍ଷଣ ବଳ ବଢ଼ି ଚାଲେ ଯାହା ଦ୍ୱାରା ନିଉକ୍ଲିୟସକୁ



ସ୍ଥାୟୀ ନିଉକ୍ଲିୟସର ନିଉଟ୍ରନ ଓ ପ୍ରୋଟନ ସଂଖ୍ୟା ମଧ୍ୟରେ ଟଣାଯାଉଥିବା ଗ୍ରାଫ୍।

ଚିତ୍ର (୬.୨)

ବାନ୍ଧି ରଖିବା ପାଇଁ ଅଧିକ ନିଉଟ୍ରନ୍ ଦରକାର ହୁଏ। ତେଣୁ E/A ର ହାରାହାରି ପରିମାଣ କମିଯାଏ। (ଚିତ୍ର (6.8) ଦେଖ)

୧୮। ବିଭାଜନ ପ୍ରକ୍ରିୟା (Fission Reaction)

1934 ମସିହାରେ ଫର୍ମି ଓ ତାଙ୍କର ସହକର୍ମୀମାନେ ନିଉଟ୍ରନ୍ (Bombardment) ଦ୍ୱାରା ନୂତନ ନ୍ୟୁକ୍ଲିୟସ ସୃଷ୍ଟି କରିବାକୁ ସମର୍ଥ ହୋଇଥିଲେ। ସେମାନେ ୟୁରାନିୟମ୍(୯୨) ନ୍ୟୁକ୍ଲିୟସକୁ ନିଉଟ୍ରନ୍ ଦ୍ୱାରା ସଂଘଟନ କରାଇ ଏକ ନୂତନ ନ୍ୟୁକ୍ଲିୟସ ନେପ୍‌ଚୁନିୟମ୍ (Neptunium) 93 ସୃଷ୍ଟି କରିପାରିଥିଲେ। ଏହି ନେପ୍‌ଚୁନିୟମ୍(୯୩) ଏକ β ରଶ୍ମି ବିକିରଣ କରି ପ୍ଲୁଟୋନିୟମ୍‌ରେ (94) ପରିଣତ ହୋଇଯାଏ। ଏହି ପ୍ଲୁଟୋନିୟମ୍‌ର ଅର୍ଦ୍ଧାୟୁ କାଳ ପ୍ରାୟ 30,000 ବର୍ଷ ଏହି ପ୍ରକ୍ରିୟା ସାହାଯ୍ୟରେ 1944 ରୁ 1950 ମଧ୍ୟରେ ଅନେକଗୁଡ଼ିଏ ନୂତନ ନ୍ୟୁକ୍ଲିୟସ ସୃଷ୍ଟି କରାଯାଇ ପାରିଲା। ସେଗୁଡ଼ିକ ହେଲା :

ନ୍ୟୁକ୍ଲିୟସ ବା ପରମାଣୁର ନାମ	ପରମାଣବିକ ସଂଖ୍ୟା
ଆମେରିସିୟମ୍ (Americium)	95
କ୍ୟୁରିୟମ୍ (Curium)	96
ବରକେଲିୟମ୍ (Berkelium)	97
କାଲିଫରନେୟମ୍ (Californium)	98
ଆଇନ୍‌ଷ୍ଟାଇନେୟମ୍ (Einsteinium)	99
ଫରମିୟମ୍ (Formium)	100
ମେଣ୍ଡେଲିନେୟମ୍ (Mendelinium)	101
ନୋବେଲିୟମ୍ (Nobelium)	102

1939 ମସିହାରେ ହାନ (Hahn) ଓ ଷ୍ଟ୍ରାସମ୍ୟାନ୍ (Strasman) ଦେଖିଲେ ଯେ ଧୀରଗାମୀ (Slow) ନିଉଟ୍ରନ୍ ଦ୍ୱାରା ବେଳେ ବେଳେ ୟୁରାନିୟମ୍ ନ୍ୟୁକ୍ଲିୟସ ଦୁଇ ଭାଗରେ ବିଭକ୍ତ ହୋଇ ଯାଉଛି। ଗୋଟିଏ ଭାଗ ହେଉଛି ତେଜସ୍କ୍ରିୟ ବେରିୟମ ($_{56}Ba^{139}$) ଓ ଅନ୍ୟଟି $_{36}Kr$। ନାୟାର (Neir) ପରୀକ୍ଷା କରି ଜାଣି ପାରିଲେ $_{92}U^{235}$ ନିଉଟ୍ରନ୍ ଦ୍ୱାରା ଦୁଇ ଭାଗରେ ବିଭକ୍ତ ହେଉଛି। ଏହାକୁ ବିଭାଜନ ପ୍ରକ୍ରିୟା କୁହାଗଲା। ଦେଖାଗଲା ଏହି ପ୍ରକ୍ରିୟା ଦ୍ୱାରା କିଛି ବସ୍ତୁର ବିନାଶ ହୋଇ ଶକ୍ତିର ଉତ୍ପତ୍ତି ହେଉଛି।

ଏହି ପ୍ରକ୍ରିୟା ଦ୍ୱାରା ପ୍ରାପ୍ତ ହୁଇଟି ଦ୍ରୁତଗାମୀ ନିଉଟ୍ରନ୍ ସୃଷ୍ଟି ହୋଇଥାଏ । ଯଦିଓ ଧୀରଗାମୀ ନିଉଟ୍ରନ୍ ଦ୍ୱାରା ଇଉରାନିୟମ୍ (235) ର ବିଭାଜନର ସମ୍ଭାବନା ବେଶୀ ତଥାପି ଦ୍ରୁତଗାମୀ ନିଉଟ୍ରନ୍ ଦ୍ୱାରା ଇଉରାନିୟମ୍‌ର ବିଭାଜନ ହୋଇପାରେ । ତେଣୁ ଥରେ ପ୍ରକ୍ରିୟା ଆରମ୍ଭ ହେଲେ ତାହା ମନକୁ ବନ୍ଦ ହୁଏ ନାହିଁ । କିନ୍ତୁ ଇଉରାନିୟମ୍‌ର ପରିମାଣ କମିଗଲେ ଏହି ପ୍ରକ୍ରିୟା ଚାଲିପାରେ ନାହିଁ । କାରଣ ନିଉଟ୍ରନ୍‌ଗୁଡ଼ିକ ଇଉରାନିୟମ୍ ଭିତରୁ ବାହାରକୁ ଚାଲିଯାଏ । ପରୀକ୍ଷା କରି ଜଣା ଯାଇଛି ଯେ ଇଉରାନିୟମ୍ ଗୋଟିଏ ନିର୍ଦ୍ଦିଷ୍ଟ ପରିମାଣରୁ କମ୍ ହେଲେ ଚେନ୍ ପ୍ରକ୍ରିୟା ଚାଲିପାରେ ନାହିଁ । ଏହି ନିର୍ଦ୍ଦିଷ୍ଟ ପରିମାଣକୁ କ୍ରିଟିକାଲ (Critical) ବସ୍ତୁତ୍ୱ କୁହାଯାଏ ।

୧୯ । ନିଉକ୍ଲିୟାର ରିଆକ୍ଟର

କୌଣସି ନିର୍ଦ୍ଦିଷ୍ଟ ସ୍ଥାନ ଓ ଉପାୟରେ ନିଉକ୍ଲିୟାର ପ୍ରକ୍ରିୟା କରାଗଲେ ତାହାକୁ ରିଆକ୍ଟର (Reactor) କୁହାଯାଏ । ରିଆକ୍ଟର ସାହାଯ୍ୟରେ ଶକ୍ତି ଉତ୍ପନ୍ନ କରାଯାଇପାରେ, ନିଉଟ୍ରନ୍ ସଂଗ୍ରହ କରାଯାଇପାରେ । ଶକ୍ତି ଉତ୍ପାଦନ କରିବା ପାଇଁ ରିଆକ୍ଟର ଏପରି ହେବା ଦରକାର ଯେପରି ଲାଭଜନକ ହେବ । ନିଉକ୍ଲିୟାର ପ୍ରକ୍ରିୟାରୁ ବାହାରୁଥିବା ବିକିରଣ କ୍ଷତିକାରକ ହୋଇଥିବାରୁ ରିଆକ୍ଟରକୁ ଜିରକୋନିୟମ୍ ଆବରଣ ଭିତରେ ରଖାଯାଏ । କାରଣ ଜିରକୋନିୟମ୍ ବହୁତ ଉତ୍ତାପ ଓ ବିକିରଣ ସହ୍ୟ କରିପାରେ ।

ଆମେ ଆଗରୁ ଜାଣିଛୁ ଯେ ଇଉରାନିୟମ୍ ବିଭାଜନ ପାଇଁ ଧୀରଗାମୀ ନିଉଟ୍ରନ୍ ବିଶେଷ ଉପଯୁକ୍ତ । ତେଣୁ ଧୀରଗାମୀ ନିଉଟ୍ରନ ପାଇବା ପାଇଁ ପ୍ରତ୍ୟେକ ରିଆକ୍ଟର ଭିତରେ ଏକ ଗତି ନିୟନ୍ତ୍ରକ ପଦାର୍ଥ ରଖା ଯାଇଥାଏ । ସେଗୁଡ଼ିକ ମଧ୍ୟରେ ଭାରିଜଳ ଓ ଗ୍ରାଫାଇଟ୍ ପ୍ରଧାନ ।

ନିଉକ୍ଲିୟାର ପ୍ରକ୍ରିୟା ଥରେ ଆରମ୍ଭ ହେଲେ ତାହା ଆପେ ଆପେ ଚାଲେ । ତେଣୁ ପ୍ରକ୍ରିୟାର ବେଗ କମାଇବା ପାଇଁ କ୍ୟାଡମିୟମ୍ ଛଡ଼ ବ୍ୟବହାର କରାଯାଏ । କାରଣ କ୍ୟାଡମିୟମ୍ ଛଡ଼ ନିଉଟ୍ରନ୍‌ଗୁଡ଼ିକୁ ଶୋଷଣ କରିନିଏ । ଏହି ଛଡ଼ଗୁଡ଼ିକ ରିଆକ୍ଟର ଭିତରେ ସମ୍ପୂର୍ଣ୍ଣ ରୂପେ ପୂରାଇ ଦେଲେ ପ୍ରକ୍ରିୟା ବନ୍ଦ ହୋଇଯାଏ ।

ରିଆକ୍ଟର ଭିତରୁ ଶକ୍ତି ସଂଗ୍ରହ କରିବା ପାଇଁ ତରଳ କିମ୍ବା ଗ୍ୟାସୀୟ ପଦାର୍ଥ ବ୍ୟବହାର କରାଯାଏ । ସବୁଠାରୁ ସହଜ ଉପାୟରେ ରିଆକ୍ଟର ଭିତରେ ପାଣିକୁ ବାଷ୍ପ କରି ତାହା ସାହାଯ୍ୟରେ ବିଦ୍ୟୁତ ଶକ୍ତି ଉତ୍ପନ୍ନ କରାଯାଇପାରେ ।

୨୦ । ଫ୍ୟୁଜନ ପ୍ରତିକ୍ରିୟା (Fusion reaction)

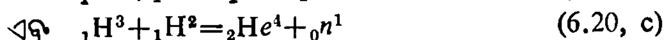
ଆମେ ଆଗରୁ ଜାଣିଛୁ ଯଦି ଗୋଟିଏ ନ୍ୟୁଟ୍ରନ୍ ଗୋଟିଏ ନ୍ୟୁକ୍ଲିୟସର 10^{-13} ସେ:ମି: ଦୂରରେ ପହଞ୍ଚେ, ତେବେ କଣିକାଟି ଆପେ ଆପେ ଟାଣି ହୋଇ ନ୍ୟୁକ୍ଲିୟସ ଭିତରକୁ ଚାଲିଯାଏ । ନିର୍ଦ୍ଦିଷ୍ଟ ଦୂରତା ମଧ୍ୟରେ ଏହି ଶକ୍ତିର ପରିମାଣ ବୈଦ୍ୟୁତିକ ବିକର୍ଷଣ ଶକ୍ତିଠାରୁ ବେଶୀ । କିନ୍ତୁ ଦୁଇଟି ନ୍ୟୁକ୍ଲିୟସ ଏହି ନିର୍ଦ୍ଦିଷ୍ଟ ଦୂରତାଠାରୁ ଦୂରରେ ଥିଲେ କୁଲମ୍ବ ବିକର୍ଷଣ ବଳ ଯୋଗୁ ପରସ୍ପର ନିକଟକୁ ଯାଇପାରନ୍ତି ନାହିଁ । ଯଦି ଗୋଟିଏ ଦ୍ରୁତଗାମୀ ନ୍ୟୁକ୍ଲିୟସ, ବିକର୍ଷଣ ଶକ୍ତିକୁ ଅତିକ୍ରମ କରି ଅନ୍ୟ ଏକ ନ୍ୟୁକ୍ଲିୟସଠାରୁ 10^{-13} ସେ:ମି: ପାଖରେ ପହଞ୍ଚେ, ତେବେ ତାହା ଆପେ ଆପେ ନ୍ୟୁକ୍ଲିୟସ ଆଡ଼କୁ ଟାଣି ହୋଇଯାଏ । ଫଳରେ ଦୁଇଟି ନ୍ୟୁକ୍ଲିୟସ ମିଳି ଅନ୍ୟ ଏକ ନୂତନ ନ୍ୟୁକ୍ଲିୟସରେ ପରିଣତ ହୋଇ ଯାଆନ୍ତି । ଏହି ପ୍ରତିକ୍ରିୟା ସାଧାରଣତଃ ଛୋଟ ଛୋଟ ନ୍ୟୁକ୍ଲିୟସ ଦ୍ୱାରା ହୋଇପାରେ । ଉଦାହରଣ ସ୍ୱରୂପ—



$${}_1H^1+{}_1H^1={}_1H^2+{}_{-1}e^0 \quad (6.20,\ a)$$



$${}_1H^2+{}_1H^2={}_1H^3+{}_1H^1 \quad (6.20,\ b)$$



ଏବଂ $${}_1H^3+{}_1H^2={}_2He^4+{}_0n^1 \quad (6.20,\ c)$$

ଏହି ପ୍ରକାର ପ୍ରତିକ୍ରିୟାରେ ଦୁଇଟି ନ୍ୟୁକ୍ଲିୟସ ମିଶି ଅନ୍ୟ ଗୋଟିଏ ନୂତନ ନ୍ୟୁକ୍ଲିୟସରେ ପରିଣତ ହେଉଥିବାରୁ ଏହାକୁ ଫ୍ୟୁଜନ ପ୍ରତିକ୍ରିୟା କହନ୍ତି ।

ଏହି ପ୍ରତିକ୍ରିୟାଗୁଡ଼ିକର ବିଶେଷତ୍ୱ ହେଲା ଯେ ଦୁଇଟି ନ୍ୟୁକ୍ଲିୟସ ଏକାଠି ମିଶିଯିବା ସମୟରେ କିଛି ବସ୍ତୁର ବିନାଶ ହୋଇ ଶକ୍ତିରେ ପରିଣତ ହୁଏ । ଉଦାହରଣ ସ୍ୱରୂପ (6.20, b) ସମୀକରଣରେ ବିନାଶ ହେଉଥିବା ବସ୍ତୁର ପରିମାଣ ଯଦି Δm ହୁଏ, ତେବେ

$$\Delta m=2\times 2.015-(3.017+1.008)$$

$$=.005 \text{ ଅ. ମା. ଉ.}$$

$$=.005\times1.66\times10^{-24}$$ ଗ୍ରାମ୍

$$\triangle E\equiv.005\times1.66\times10^{-24}\times3\times3\times10^{20}$$ ଅର୍ଗ

ଏକ ଗ୍ରାମ୍ ଡିଉଟିରିୟମରେ ପ୍ରାୟ $\frac{.5\times10^{24}}{1.66}$ ଟି ପରମାଣୁ ଥାଏ । ଏଣୁ ଏକ ଗ୍ରାମ୍ ଡିଉଟିରିୟମ୍ ଶକ୍ତିରେ ପରିଣତ ହେଲେ, ଆମେ ପାଉଁ

$$E=\frac{\cdot045\times10^{20}\times1.66\times10^{-24}\times\cdot5}{1.66\times10^{-24}\times2}$$

$$=1.13\times10^{18}$$ ଅର୍ଗ $=1.13\times10^{11}$ ଯୁଲ୍ ।

ଏହି ପ୍ରକାର ଫ୍ୟୁଜନ ପ୍ରତିକ୍ରିୟା ଦ୍ୱାରା ସୂର୍ଯ୍ୟ ଦେହରେ ପ୍ରଚୁର ଶକ୍ତି ଉତ୍ପନ୍ନ ହେଉଛି । ଆମ୍ଭେମାନେ ତାହା ଉତ୍ତାପ ଓ ଆଲୋକ ଆକାରରେ ପାଉଁ । ଅନ୍ୟ ମଧ୍ୟ ନକ୍ଷତ୍ରମାନଙ୍କଠାରୁ ଆମେ ଯେଉଁ ଆଲୋକ ପାଉଁ, ତାହା ମଧ୍ୟ ଫ୍ୟୁଜନ ପ୍ରତିକ୍ରିୟାରୁ ମିଳିଥାଏ । ତେଣୁ ଏହି ପ୍ରତିକ୍ରିୟାରୁ ଆମେ ପ୍ରଚୁର ଶକ୍ତି ପାଇ ପାରିବା ।

ଆମେ ଆଗରୁ ଜାଣିଛୁ ଦ୍ରୁତଗାମୀ ପ୍ରୋଟନ୍ ବା ନିଉକ୍ଲିୟସ ଅନ୍ୟ ଏକ ନିଉକ୍ଲିୟସ ଦେହରେ ବାଧା ପାଇଲେ ଫ୍ୟୁଜନ ହୋଇ ପାରିବ । କିନ୍ତୁ ଏପରି ଉପାୟ ଉପଯୁକ୍ତ ନୁହେଁ । କାରଣ ଗୋଟିଏ ଦ୍ରୁତଗାମୀ ପ୍ରୋଟନ୍ ବା ନିଉକ୍ଲିୟସ ପ୍ରସ୍ତୁତ କରିବା ପାଇଁ ଯେତେ ଶକ୍ତି ଦରକାର ସେ ପ୍ରୋଟନ୍ ବା ନିଉକ୍ଲିୟସ ଦ୍ୱାରା ହେଉଥିବା ଫ୍ୟୁଜନରୁ ସେତେ ଶକ୍ତି ମିଳିପାରେ ନାହିଁ । ତେଣୁ ଏହି ଉପାୟରେ ଶକ୍ତି ସଂଗ୍ରହ କରିବା ଅସମ୍ଭବ ।

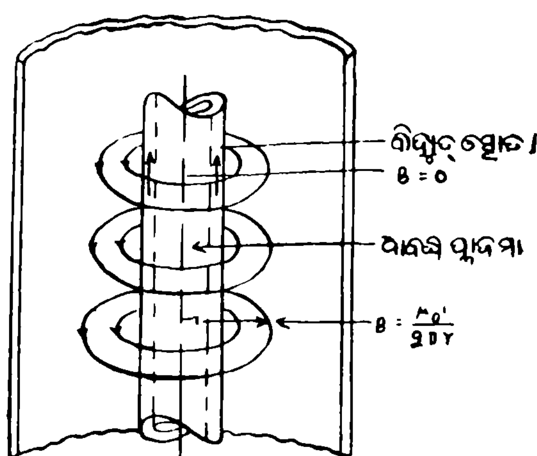
ଉଦ୍‌ଜାନ ଓ ହିଲିୟମ୍ ସାଧାରଣ ତାପମାତ୍ରାରେ ଗ୍ୟାସୀୟ ଅବସ୍ଥାରେ ଥାଆନ୍ତି । ଏହି ତାପମାତ୍ରାରେ ପରମାଣୁଗୁଡ଼ିକର ହାରାହାରି ବେଗ ଅତ୍ୟନ୍ତ କମ୍ ହୋଇ ଥିବାରୁ ସେମାନଙ୍କ ମଧ୍ୟରେ ଫ୍ୟୁଜନ ହୋଇପାରେ ନାହିଁ । କିନ୍ତୁ ଆବଦ୍ଧ ଉଦ୍‌ଜାନ କିମ୍ବା ହିଲିୟମ୍ ଗ୍ୟାସର ତାପମାତ୍ରା ବଢ଼ିବା ସଙ୍ଗେ ସଙ୍ଗେ ପରମାଣୁ-ଗୁଡ଼ିକର ହରାହାରି ବେଗ ବଢ଼ିଯାଏ ଓ ଫ୍ୟୁଜନର ସମ୍ଭାବନା ମଧ୍ୟ ବଢ଼ିଯାଏ । ହିସାବରୁ ଜଣାଯାଏ 10^{8}°C ତାପମାତ୍ରାରେ ଡିଉଟିରିୟମ୍ ଫ୍ୟୁଜନ ପାଇଁ ଉପଯୁକ୍ତ । କିନ୍ତୁ ଏତେ ତାପମାତ୍ରା ସୃଷ୍ଟି କରିବା କଷ୍ଟସାଧ୍ୟ ଓ ଏହି ତାପମାତ୍ରାରେ ଡିଉଟିରିୟମ୍ ପୃଥିବୀର କୌଣସି ପଦାର୍ଥ ଦ୍ୱାରା ଆବଦ୍ଧ ହୋଇ ରହି ପାରିବ ନାହିଁ । କାରଣ ଏହି ତାପମାତ୍ରାରେ ପ୍ରତ୍ୟେକ ପଦାର୍ଥ ତାହାର ଚତୁର୍ଥ ଅବସ୍ଥାରେ ରହେ । ଏହାକୁ ପ୍ଲାଜମା କହନ୍ତି ।

ସାଧାରଣତଃ ଯେ କୌଣସି ପଦାର୍ଥ ତିନୋଟି ଅବସ୍ଥାରେ ରହିପାରେ ଯଥା—କଠିନ, ତରଳ ଓ ଗ୍ୟାସୀୟ । କୌଣସି ଗ୍ୟାସୀୟ ପଦାର୍ଥର ତାପମାତ୍ରା ବଢ଼ିଲେ ପ୍ରତ୍ୟେକ ପରମାଣୁର ଗତି ଶକ୍ତି (kinetic energy) ଓ ଅଭ୍ୟନ୍ତରୀଣ ଶକ୍ତି (Internal Energy) ବଢ଼େ । ତାପମାତ୍ରା ଅତ୍ୟଧିକ ହେଲେ ଗୋଟିଏ କିମ୍ବା କେତୋଟି ଇଲେକଟ୍ରନ୍ ନିଉକ୍ଲିୟସଠାରୁ ଅଲଗା ହୋଇଯାଇ ସ୍ୱାଧୀନ ଭାବରେ ବୁଲେ । ଏହି ଅବସ୍ଥାକୁ ପଦାର୍ଥର ଚତୁର୍ଥ ଅବସ୍ଥା ବା ପ୍ଲାଜମା କହନ୍ତି ।

ଫ୍ୟୁଜନ ପ୍ରତିକ୍ରିୟାରୁ ମିଳୁଥିବା ଶକ୍ତିର ଶାନ୍ତି ପୂର୍ଣ୍ଣ ବିନିଯୋଗ କରିବା ପାଇଁ ପ୍ରଧାନ ପ୍ରତିବନ୍ଧକ ହେଲା ଉତ୍ତପ୍ତ ପ୍ଲାଜମାକୁ ଆବଦ୍ଧ ରଖିବା, ଏହି ତାପମାତ୍ରାରେ କୌଣସି ପଦାର୍ଥ ଦ୍ୱାରା ପ୍ଲାଜମାକୁ ଆବଦ୍ଧ କରାଯାଇ ପାରିବ ନାହିଁ । ତେଣୁ ଯେ କୌଣସି ପ୍ରକାରରେ ପ୍ଲାଜମା କଣାଗୁଡ଼ିକ କାନ୍ଥଠାରୁ ଦୂରରେ ରଖିବାକୁ ପଡ଼ିବ ।

ଗୋଟିଏ ଆବଦ୍ଧ ସିଲିଣ୍ଡ୍ରିକାଲ (cylindrical) ପାତ୍ରର ଦୁଇପାର୍ଶ୍ୱରେ ଶକ୍ତିଶାଳୀ ବିଭବାନ୍ତର ପ୍ରୟୋଗ କଲେ ବିଭବାନ୍ତର ଯୋଗୁ ପ୍ଲାଜମା କଣାଗୁଡ଼ିକ ନିର୍ଦ୍ଦିଷ୍ଟ ଦିଗରେ ଗତି କରିବାକୁ ଲାଗିବେ । ଏହା ଏକ ଦିଗରେ ପ୍ରବାହିତ କେତେଗୁଡ଼ିଏ ବିଦ୍ୟୁତ ସ୍ରୋତ ପରି କାର୍ଯ୍ୟ କରିବା ହେତୁ ସ୍ରୋତ-ଗୁଡ଼ିକ ପରସ୍ପରକୁ ଆକର୍ଷଣ କରିବେ । ଫଳରେ ଉତ୍ତପ୍ତ ପ୍ଲାଜମା ପାତ୍ରର ମଝି ଅକ୍ଷକୁ ଟାଣି ହୋଇ ଆସିବ ଓ କାନ୍ଥରୁ ଛାଡ଼ି ଯିବ । କିନ୍ତୁ ପ୍ଲାଜମାଟି କ୍ରମେ ଦଉଡ଼ି ପରି ସରୁ ହୋଇ ଛିଡ଼ି ଯିବ ଓ ବିଦ୍ୟୁତ ପ୍ରବାହ ବନ୍ଦ ହୋଇଯିବ । ତେଣୁ ପ୍ଲାଜମା ଅଧିକ ଆବଦ୍ଧ ହୋଇ ପାରିବ ନାହିଁ । ଏହାକୁ ପିଞ୍ଚ୍ ପ୍ରଭାବ (Pinch effect) କହନ୍ତି । ଯଦି ଗୋଟିଏ ଚୁମ୍ବକ କ୍ଷେତ୍ର ବିଦ୍ୟୁତ ସ୍ରୋତ ସହିତ ସମାନ୍ତର କରି ପ୍ରୟୋଗ କରାଯାଏ, ତେବେ ଏହି ପ୍ଲାଜମା ବେଶୀ ସମୟ ଆବଦ୍ଧ ହୋଇପାରେ । ଏହି ପ୍ରଣାଳୀର ପ୍ରଧାନ ପ୍ରତିବନ୍ଧକ ହେଲା ଯେ ପ୍ଲାଜମା କଣିକାଗୁଡ଼ିକ ଦୁଇ ଇଲେକଟ୍ରୋଡ୍ ସଂସ୍ପର୍ଶରେ ଆସେ । ଏହା ଫଳରେ ପ୍ଲାଜମା ଥଣ୍ଡା ହୋଇଥାଏ ଓ ତାପମାତ୍ରା ବେଶୀ ହେଲେ ଇଲେକଟ୍ରୋଡ୍ ଦୁଇଟି ଗ୍ୟାସ ହୋଇ ଯିବାର ସମ୍ଭାବନା ଥାଏ । ଏହି ଅସୁବିଧାକୁ ଦୂର କରିବା ପାଇଁ ଗୋଟିଏ ବୃତ୍ତାକାର ନଳୀରେ ଉତ୍ତପ୍ତ ପ୍ଲାଜମ୍ ରଖି ଦୁଇ ବିପରୀତ ପାର୍ଶ୍ୱରେ ନଳୀ ଉପରେ ଗୁଡ଼ା ହୋଇଥିବା ତାର ଦେହରେ ଶକ୍ତିଶାଳୀ ପ୍ରତ୍ୟାବର୍ତ୍ତୀ ବିଦ୍ୟୁତ

ସ୍ରୋତ ପ୍ରବାହିତ କଲେ ନଳୀ ଭିତରେ ଶକ୍ତିଶାଳୀ ବିଦ୍ୟୁତ କ୍ଷେତ୍ର ଉତ୍ପନ୍ନ ହେବ ଏହି ବିଦ୍ୟୁତ କ୍ଷେତ୍ର ଯୋଗୁ ପ୍ଲାଜମା କଣାଗୁଡ଼ିକ ନଳୀ ଭିତରେ



ପ୍ଲାଜ୍‌ମାରେ ପିଂଚ୍ ପ୍ରଭାବ

ଚିତ୍ର (6.10)

ବୃତ୍ତାକାରରେ ବୁଲିବାକୁ ଲାଗିବେ । ତାପମାତ୍ରା ଯେତେ ବେଶୀ ହେବ, ଏହି କଣାଗୁଡ଼ିକର ବେଗ ସେତେ ବେଶୀ ହେବ । ଏହି ମୂଳ ତତ୍ତ୍ୱକୁ ଭିତ୍ତି କରି ଇଂଲଣ୍ଡରେ ଗୋଟିଏ ଫ୍ୟୁଜନ ରିଆକ୍ଟର ତିଆରି କରାଯାଇଥିଲା । ଏହାର ନାମ ଜିଟା (ZETA) ।

ବିଦ୍ୟୁତ ଯୁକ୍ତ କଣାଗୁଡ଼ିକ ସହଜରେ ଚୁମ୍ବକ କ୍ଷେତ୍ରକୁ ଅତିକ୍ରମ କରି ଯାଇ ପାରନ୍ତି ନାହିଁ । ଏହି ତତ୍ତ୍ୱକୁ ଭିତ୍ତି କରି ଚୁମ୍ବକ କ୍ଷେତ୍ର ଦ୍ୱାରା ଉତ୍ତପ୍ତ ପ୍ଲାଜମାକୁ ଅବଦ୍ଧ କରିବା ପାଇଁ ଚେଷ୍ଟା କରାଯାଉଛି । ଏଥିପାଇଁ ନିର୍ଦ୍ଦିଷ୍ଟ ପ୍ରକାରର ଚୁମ୍ବକ କ୍ଷେତ୍ର ଦରକାର । ଏହି କ୍ଷେତ୍ରର ଆକୃତି ଗୋଟିଏ ଯୋଡ଼ା ବୋତଲ ପରି ହୋଇଥିବାରୁ ଏହି ପ୍ରଣାଳୀକୁ ଚୁମ୍ବକ ବୋତଲ ଭିତରେ ପ୍ଲାଜମା ଅବଦ୍ଧ ପ୍ରଣାଳୀ କହନ୍ତି । କିନ୍ତୁ ପ୍ରକୃତ କାର୍ଯ୍ୟ କ୍ଷେତ୍ରରେ ଏହି ପ୍ରଣାଳୀ ଦ୍ୱାରା ପ୍ଲାଜମାକୁ ବେଶୀ ସମୟ ପର୍ଯ୍ୟନ୍ତ ଅବଦ୍ଧ କରାଯାଇ ପାରୁ ନାହିଁ । ପୃଥିବୀର ସବୁ ଦେଶରେ ବୈଜ୍ଞାନିକମାନେ ଭିନ୍ନ ଭିନ୍ନ ପ୍ରଣାଳୀରେ ପ୍ଲାଜମାକୁ ଅବଦ୍ଧ କରିବା ପାଇଁ ଚେଷ୍ଟା କରୁଛନ୍ତି । କିନ୍ତୁ ଏ ପର୍ଯ୍ୟନ୍ତ ସେମାନେ ସମ୍ପୂର୍ଣ୍ଣ ସଫଳ ହୋଇ ପାରି ନାହାନ୍ତି ।

ପ୍ରଶ୍ନମାଳା

1. ତେଜସ୍କ୍ରିୟ ପରମାଣୁ କାହାକୁ କୁହାଯାଏ ?
2. ତେଜସ୍କ୍ରିୟ ପରମାଣୁରୁ ବିକିରିତ ହେଉଥିବା ବିକିରଣଗୁଡ଼ିକୁ କିପରି ଭାବେ ଚିହ୍ନି ହୁଏ ?
3. କିପରି ପ୍ରମାଣିତ ହେଲା ଯେ α ରଶ୍ମି ହିଲିୟମ, ନିଉକ୍ଲିୟସ β ରଶ୍ମି ଇଲେକଟ୍ରନ୍ ଓ γ ରଶ୍ମି ବିଦ୍ୟୁତ ଚୁମ୍ବକୀୟ ତରଙ୍ଗ ବ୍ୟତୀତ କିଛି ନୁହେଁ ?
4. ଗୋଟିଏ α ରଶ୍ମିର ବେଗ 2×10^9 ସେ:ମି:/ସେକେଣ୍ଡ ହେଲେ, ତାହାର ଶକ୍ତିର ପରିମାଣକୁ ଅର୍ଗ ଓ ଇ· ଭୋ· ରେ ପ୍ରକାଶ କର । (13.28×10^{-6} ଅର୍ଗ, 8.29 ମି· ଇ ଭୋ·)
5. ଯଦି ଗୋଟିଏ β ରଶ୍ମିର ବେଗ 0.9 C ହୁଏ, ତେବେ ତାହାର ଗତି ଶକ୍ତିକୁ ଇଲେକଟ୍ରନ୍ ଭୋଲ୍ଟରେ ପ୍ରକାଶ କର ।

$$\left(Ek = \frac{m_0 c^2}{\sqrt{1 - \frac{u^2}{c^2}}} - m_0 c^2 \right)$$

6. ଗୋଟିଏ ରେଡ଼ିଓ ଆକଟିଭ ପଦାର୍ଥ ମିଶ୍ରିତ ଥିବା ଶିଳାର ବୟସ କିପରି ମାପି ହୁଏ ? ପୃଥିବୀର ବୟସ କିପରି 1600 ମିଲିୟନ ବର୍ଷରୁ କମ୍ ନୁହେଁ ବୋଲି ଜଣାଯାଏ ?
7. 2×10^9 ସେ·ମି: ବେଗ ବିଶିଷ୍ଟ ଏକ α ରଶ୍ମିକୁ ଗୋଲାକାର ପଥରେ ନେବା ପାଇଁ ଦରକାର ହେଉଥିବା ଚୁମ୍ବକ କ୍ଷେତ୍ରର ପରିମାଣ କେତେ ? (ଗୋଲାକାର ପଥର ବ୍ୟାସାର୍ଦ୍ଧ 30 ସେ:ମି:)
8. ସାଇକ୍ଲୋଟ୍ରନ୍ ସାହାଯ୍ୟରେ ପ୍ରୋଟନ୍ ତୁଳନାରେ ଶକ୍ତିଶାଳୀ α ରଶ୍ମି ପ୍ରସ୍ତୁତ କରିବା ସମ୍ଭବ ହୁଏ କାହିଁକି ?
9. ସାଇକ୍ଲୋଟ୍ରନ୍ ସାହାଯ୍ୟରେ କାହିଁକି ଉଚ୍ଚ ଶକ୍ତି ବିଶିଷ୍ଟ କଣିକା ପ୍ରସ୍ତୁତ କରି ହୁଏ ନାହିଁ ? ଏହି ସର୍ବୋଚ୍ଚ ଶକ୍ତିର ସୀମା କେତେ ?
10. ହାଲୁକା ପରମାଣୁ ତୁଳନାରେ କାହିଁକି ଭାରି ପରମାଣୁ ଦ୍ୱାରା ପରମାଣୁର ବିଘଟନ କରାଇବା କଷ୍ଟକର ?
11. କେଉଁ ତେଜସ୍କ୍ରିୟ ବିକିରଣ ଅଧିକ ପରିମାଣ ଆୟନୀକରଣ କରିପାରେ ଓ କାହିଁକି ?

12. ପ୍ରଥମେ କଳ୍ପନା କରାଯାଇଥିଲା ପ୍ରତ୍ୟେକ ପରମାଣୁ କେତେକ ସଂଖ୍ୟକ ହାଇଡ୍ରୋଜେନ ପରମାଣୁକୁ ନେଇ ଗଠିତ । ଏହି କଳ୍ପନା କାହିଁକି ଠିକ୍ ନୁହେଁ ?

13. ଗୋଟିଏ ତେଜସ୍କ୍ରିୟ ପରମାଣୁର ଅର୍ଦ୍ଧାୟୁ କାଳ କହିଲେ କ'ଣ ବୁଝାଯାଏ ?

14. ପ୍ରାକୃତିକ ରେଡ଼ିଓ ଆକ୍ଟିଭ୍ ଶ୍ରେଣୀ କାହାକୁ କହନ୍ତି ଓ ଏହାର ବିଶେଷତ୍ୱ କ'ଣ ?

15. କେତେକ ପ୍ରକାରର ବିଘଟନ ଫଳରେ ପ୍ରଚୁର ଶକ୍ତି କାହିଁକି ମିଳିଥାଏ ?

16. କେଉଁ ପରୀକ୍ଷା ଦ୍ୱାରା ସ୍ୱିପର ନ୍ୟୁଟ୍ରନ୍‌ର ଉଦ୍‌ଭାବନ କରାଗଲା ?

17. କେଉଁ ପରୀକ୍ଷା ଦ୍ୱାରା ଓ କିପରି ପଜିଟ୍ରନ୍‌ର ଉଦ୍‌ଭାବନ କରାଗଲା ?

18. ଫ୍ୟୁଜନ ପ୍ରତିକ୍ରିୟା କାହାକୁ କହନ୍ତି ? ଏହି ପ୍ରତିକ୍ରିୟାରୁ ପ୍ରଚୁର ଶକ୍ତି କାହିଁକି ଉତ୍ପନ୍ନ ହୁଏ ?

19 ନିୟନ୍ତ୍ରିତ ଫ୍ୟୁଜନ ପ୍ରତିକ୍ରିୟା କାହାକୁ କହନ୍ତି ? ଏହାର ଉପାଦେୟତା କ'ଣ ?

20. ଗୋଟିଏ ଚାର୍ଜ କଣିକା .01 ୱେବର/(ମି)³ ଚୁମ୍ବକ କ୍ଷେତ୍ର ଦ୍ୱାରା 13.5 ବ୍ୟାସାର୍ଦ୍ଧ ବିଶିଷ୍ଟ ଗୋଲାକାର ପଥରେ ବୁଲୁଅଛି । କଣିକାର ବେଗ .8C ହୁଏ, ତେବେ କଣିକାର ଚାର୍ଜର ପରିମାଣ କେତେ ଓ ତାହା କି କଣିକା ?

21. ରେଡ଼ିୟମ୍ ହାରାହାରି ବର୍ଷକୁ ଶତକଡ଼ା .045 କ୍ଷୟ ହୁଏ, ତେବେ ଦିନକେ 1 ଗ୍ରାମ୍ ରେଡ଼ିୟମ୍‌ରୁ କେତୋଟି α ରଶ୍ମିର ବିକିରଣ ହେବ ?

$$\left[\ .045 = 10e^{-\lambda 365} \text{ ଏବଂ } n = \frac{m}{4 \times 1.66 \times 10^{-27} \text{ କେ:ଗ୍ରା:}} = e^{-\lambda}\ \right]$$

22. ରେଡ଼ିୟମ୍‌ର ପରମାଣବିକ ବସ୍ତୁତ୍ୱ 224 ଓ ପରମାଣବିକ ସଂଖ୍ୟା 88 ଏବଂ ଏହା α ରଶ୍ମି ବିକିରଣ କରି ବିଘଟିତ ହେଲେ, ଏହାକୁ ସମୀକରଣରେ ପ୍ରକାଶ କର ।

23. ଗୋଟିଏ ତେଜସ୍କ୍ରିୟ ପରମାଣୁର ପାରମାଣବିକ ବସ୍ତୁତ୍ୱ 218 ଓ ସଂଖ୍ୟା 84 ଏବଂ ପରମାଣୁଟି α ରଶ୍ମି ବିକିରଣ କରି ବିଘଟିତ ହେଲେ, ନୂତନ ପରମାଣୁର ପାରମାଣବିକ ବସ୍ତୁତ୍ୱ ଓ ସଂଖ୍ୟା କେତେ ?

24. ଥୋରିୟମ୍‌ର ବିଘଟନ ଯୋଗୁ 6 ଟି α ରଶ୍ମି ଓ 4 ଟି β ରଶ୍ମି ବିକିରିତ ହେଲେ, ନୂତନ ପରମାଣୁର ପାରମାଣବିକ ବସ୍ତୁତ୍ୱ ଓ ସଂଖ୍ୟା କେତେ ?

25. ଏକ ଲିଥିୟମ୍ ନଉକ୍ଲିୟସ ଏକ ପ୍ରୋଟନ୍‌କୁ ଶୋଷଣ କରି ସମାନ ଦୁଇ ଭାଗରେ ବିଭକ୍ତ ହେଲା, ଯଦି ଲିଥିୟମ୍ ନଉକ୍ଲିୟସର ପାରମାଣବିକ ବସ୍ତୁତ୍ୱ 7 ଓ ପାରମାଣବିକ ସଂଖ୍ୟା 3 ହୁଏ, ତେବେ ସୃଷ୍ଟି ହେଉଥିବା ନଉକ୍ଲିୟସର ପାରମାଣବିକ ସଂଖ୍ୟା ଓ ବସ୍ତୁତ୍ୱ କେତେ ?

26. ଯଦି ଗୋଟିଏ ଫୋଟନ୍ ଏକ ଇଲେକଟ୍ରନ୍ ଓ ପଜିଟ୍ରନ୍ ସୃଷ୍ଟି କରି ଅଦୃଶ୍ୟ ହୋଇଯାଏ, ତେବେ ଫୋଟନର ଶକ୍ତି ସୃଷ୍ଟି ହେଉଥିବା କଣିକାର ବସ୍ତୁତ୍ୱ ସହିତ ସମାନ ନୁହେଁ କି ? ଯଦି ନୁହେଁ, ତେବେ କାହିଁକି ?

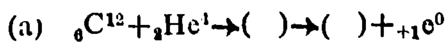
27. ଏକ ତେଜସ୍କ୍ରିୟ ପଦାର୍ଥର ଆକ୍‌ଟିଭିଟି (Activity) .01ରୁ .003 କ୍ୟୁରି (curie) କୁ 60 ଦିନରେ କମିଗଲା । ପଦାର୍ଥର ଅର୍ଦ୍ଧାୟୁ କାଳ କେତେ ? (35 ଦିନ)

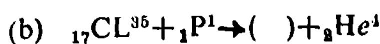
28. ଚୁମ୍ବକ କ୍ଷେତ୍ର ଦ୍ୱାରା ଗୋଲାକାର ପଥରେ ଗତି କରୁଥିବା ଏକ ଚାର୍ଜ କଣିକାର ଗତି ଶକ୍ତିର ପରିମାଣ $\frac{(qBr)^2}{2m}$ ବୋଲି ପ୍ରମାଣ କର । (q= କଣିକାର ଚାର୍ଜ, r=ଗୋଲାକାର ପଥର ବ୍ୟାସାର୍ଦ୍ଧ, m=କଣିକାର ବସ୍ତୁତ୍ୱ ଏବଂ B=ଚୁମ୍ବକ କ୍ଷେତ୍ର)

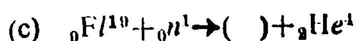
29. ଯଦି ଥୋରିୟମ୍‌ର ${}_{90}Th^{234}$ ଅର୍ଦ୍ଧାୟୁ କାଳ 24.1 ଦିନ ହୁଏ, ତେବେ କେତେ ଦିନ ପରେ ବିଶୁଦ୍ଧ ଥୋରିୟମ୍ ଶତକଡ଼ା ୨୦ ଭାଗ ପ୍ରୋଟାକଟିନିୟମ (${}_{91}Pa^{234}$) ରେ ପରିଣତ ହେବ ? (80 ଦିନ)

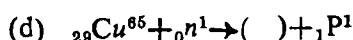
30. ଗୋଟିଏ ପ୍ରୋଟନ୍ 1.00 ଓ୍ୱେବର/ ମିଟର)^3 ଚୁମ୍ବକ କ୍ଷେତ୍ର ଦ୍ୱାରା 0.635 ମିଟର ବ୍ୟାସାର୍ଦ୍ଧ ବିଶିଷ୍ଟ ଗୋଲାକାର ପଥରେ ଗତି କରୁଛି । ତାହାର ଗତି ଶକ୍ତିର ପରିମାଣ କେତେ ? (19 ମି. ଇ. ଭୋ.)

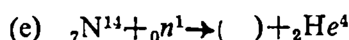
31. ନିମ୍ନଲିଖିତ ନଉକ୍ଲିୟାର ପ୍ରକ୍ରିୟାଗୁଡ଼ିକରେ ଥିବା ଶୂନ୍ୟ ସ୍ଥାନ ପୂରଣ କର :—


(a) ${}_{6}C^{12}+{}_{2}He^{4}\rightarrow(\quad)\rightarrow(\quad)+{}_{+1}e^{0}$


(b) ${}_{17}CL^{35}+{}_{1}P^{1}\rightarrow(\quad)+{}_{2}He^{4}$


(c) ${}_{9}Fl^{19}+{}_{0}n^{1}\rightarrow(\quad)+{}_{2}He^{4}$


(d) ${}_{29}Cu^{65} + {}_{0}n^{1} \rightarrow (\quad) + {}_{1}P^{1}$


(e) ${}_{7}N^{14} + {}_{0}n^{1} \rightarrow (\quad) + {}_{2}He^{4}$

32. ଯଦି ଗୋଟିଏ ଇଲେକଟ୍ରନ୍ ଓ ଗୋଟିଏ ପଜିଟ୍ରନ୍ ମିଶି ଗୋଟିଏ ଫୋଟନରେ ପରିଣତ ହୁଅନ୍ତି, ତେବେ ଫୋଟନର ସର୍ବନିମ୍ନ ଆବୃତ୍ତିର ପରିମାଣ କେତେ? ଏହା ସର୍ବନିମ୍ନ ଆବୃତ୍ତିଠାରୁ ବେଶୀ ହୋଇ ପାରେ କି? ଯଦି ହୋଇପାରେ, ତେବେ କାହିଁକି?

33. ଯଦି ଏକ ବିଭାଜନ (Fission) ପ୍ରକ୍ରିୟାରେ ବସ୍ତୁତ୍ୱ ହ୍ରାସର ପରିମାଣ ଶତକଡ଼ା .05 ହୁଏ, ତେବେ 1 K. G. ପଦାର୍ଥରୁ ବିଭାଜନ ପ୍ରକ୍ରିୟାରୁ କେତେ ଶକ୍ତି ମିଳିବ? ($.45 \times 10^{13}$ ଯୁଲ୍)

34. ଯଦି u^{235}ର ବିଭାଜନ ପ୍ରକ୍ରିୟା ଯୋଗୁ 300 ମି. ଇ. ଭୋ. ର ଶକ୍ତି ମିଳେ, ତେବେ କେତେ ପରିମାଣର ବସ୍ତୁତ୍ୱ ଶକ୍ତିରେ ପରିଣତ ହେଲା? (0.331 ଆ. ମା. ଭ.)

35. ଯଦି ଦୁଇଟି ଡିଉଟ୍ରିୟମ୍ ମିଶି ଏକ ହିଲିୟମ୍ ପରମାଣୁରେ ପରିଣତ ହେବା ସମୟରେ ଶତକଡ଼ା 0.7 ଭାଗ ବସ୍ତୁତ୍ୱର ହ୍ରାସ ହୁଏ, ତେବେ 1 କେ. ଜି. ଡିଉଟ୍ରିୟମ୍‌ରୁ କେତେ ଶକ୍ତି ଉତ୍ପନ୍ନ ହେବ?

36. ଯଦି 3 ଟି ହିଲିୟମ୍ ନିଉକ୍ଲିୟସ ମିଶି ଏକ କାରବନ୍ ନିଉକ୍ଲିୟସରେ ପରିଣତ ହୁଅନ୍ତି, ତେବେ କେତେ ଶକ୍ତି ଉତ୍ପନ୍ନ ହେବ?
(ହିଲିୟମ୍—4.003 ଆ. ମା. ଭ.)
(କାରବନ୍—12.01 ଆ. ମା. ଭ.) (1.8 ମି. ଇ. ଭୋ.)

—ସମାପ୍ତ—

ପରିଶିଷ୍ଟ

ଉପାଦାନ	ଚିହ୍ନ	ପରମାଣବିକ ସଂଖ୍ୟା	ପରମାଣବିକ ଓଜନ
ଉଦ୍‌ଜାନ (Hydrogen)	H	1	1.0080
ହିଲିୟମ୍ (Helium)	He	2	4.003
ଲିଥିୟମ୍ (Lithium)	Li	3	6.940
ବେରିଲିୟମ୍ (Beryllium)	Be	4	9.013
ବୋରନ୍ (Boron)	B	5	10.82
ଅଙ୍ଗାର (Carbon)	C	6	12.010
ଯବକ୍ଷାରଜାନ (Nitrogen)	N	7	14.008
ଅମ୍ଳଜାନ (Oxygen)	O	8	16
ଫ୍ଲୋରିନ୍ (Fluorine)	F	9	19.00
ନିୟନ୍ (Neon)	Ne	10	20.183
ସୋଡିୟମ୍ (Sodium)	Na	11	22.997
ମାଗ୍ନେସିୟମ୍ (Magnesium)	Mg	12	24.32
ଆଲୁମିନିଅମ୍ (Aluminium)	Al	13	26.97
ସିଲିକନ୍ (Silicon)	Si	14	28.09
ଫସଫରସ୍ (Phosphorus)	P	15	30.98
ଗନ୍ଧକ (Sulphur)	S	16	32.06
କ୍ଲୋରିନ୍ (Chlorine)	Cl	17	35.457
ଆରଗନ୍ (Argon)	A	18	39.944
ପୋଟାସିଅମ୍ (Potassium)	K	19	39.096
କାଲସିଅମ୍ (Calcium)	Ca	20	40.08
ସ୍କାଣ୍ଡିଅମ୍ (Scandium)	Sc	21	45.10
ଟିଟାନିୟମ୍ (Titanium)	Ti	22	47.90
ଭାନାଡିୟମ୍ (Vanadium)	V	23	50.95
କ୍ରୋମିୟମ୍ (Chromium)	Cr	24	52.01

ଉପାଦାନ	ଚିହ୍ନ	ପରମାଣବିକ ସଂଖ୍ୟା	ପରମାଣବିକ ଓଜନ
ମାଙ୍ଗାନିଜ୍ (Manganese)	Mn	25	54.94
ଲୌହ (Iron)	Fe	26	55.85
କୋବାଲ୍ଟ (Cobalt)	Co	27	58.69
ନିକେଲ (Nickel)	Ni	28	58.71
ତମ୍ବା (Copper)	Cu	29	63.57
ଜିଙ୍କ୍ (Zinc)	Zn	30	65.38
ଗାଲିୟମ୍ (Gallium)	Ga	31	69.72
ଜର୍ମାନିୟମ୍ (Germanium)	Ge	32	72.60
ଆରସେନିକ୍ (Arsenic)	As	33	74.91
ସେଲିନିୟମ୍ (Selenium)	Se	34	78.96
ବ୍ରୋମିନ୍ (Bromine)	Br	35	79.916
କ୍ରିପଟନ୍ (Krypton)	Kr	36	83.70
ରୁବିଡିୟମ୍ (Rubidium)	Rb	37	85.48
ଷ୍ଟ୍ରୋନ୍ସିୟମ୍ (Strontium)	Sr	38	87.63
ଇଟ୍ରିୟମ୍ (Yttrium)	Y	39	88.92
ଜିରକୋନିୟମ୍ (Zirconium)	Zr	40	91.22
ନିୟୋବିୟମ୍ (Niobium)	Nb	41	92.91
ମଲିବଡେନମ୍ (Molybdenum)	Mo	42	95.95
ଟେକନେଟିୟମ୍ (Technetium)	Tc	43	99
ରୁଥେନିୟମ୍ (Ruthenium)	Ru	44	101.7
ରୋଡିୟମ୍ (Rhodium)	Rh	45	102.91
ପାଲାଡିୟମ୍ (Palladium)	Pd	46	106.71
ରୁପା (ସିଲଭର) (Silver)	Ag	47	107.880
କାଡମିୟମ୍ (Cadmium)	Cd	48	112.41
ଇଣ୍ଡିୟମ୍ (Indium)	In	49	114.76
ଟିଣ (Tin)	Sn	50	118.70

ଉପାଦାନ	ଚିହ୍ନ	ପରମାଣବିକ ସଂଖ୍ୟା	ପରମାଣବିକ ଓଜନ
ଏଣ୍ଟିମନି (Antimony)	Sb	51	121.76
ଟେଲୁରିୟମ୍ (Tellurium)	Te	52	127.61
ଅୟୋଡିନ୍ (Iodine)	I	53	126.92
ଜେନନ୍ (Xenon)	Xe	54	131.30
ସେସିୟମ୍ (Cesium)	Cs	55	132.91
ବେରିୟମ୍ (Berium)	Ba	56	137.36
ଲନ୍ଥାନମ୍ (Lanthanum)	La	57	138.92
ସେରିୟମ୍ (Cerium)	Ce	58	140.13
ପ୍ରାସିଓଡିମିୟମ୍ (Praesodymium)	Pr	59	140.92
ନିଓଡିମିୟମ୍ (Neodymium)	Nd	60	144.27
ପ୍ରମେଥିୟମ୍ (Promethium)	Pm	61	145
ସାମେରିୟମ୍ (Samarium)	Sm	62	150.43
ଇଉରୋପିୟମ୍ (Europium)	Eu	63	152.0
ଗାଡୋଲିନିୟମ୍ (Gadolinium)	Gd	64	156.9
ଟେବିୟମ୍ (Tebium)	Tb	65	158.93
ଡିସପ୍ରୋସିୟମ୍ (Dysprosium)	Dy	66	162.46
ହୋଲମିୟମ୍ (Holmium)	Ho	67	164.94
ଏରବିୟମ୍ (Erbium)	Er	68	167.2
ଥୂଲିୟମ୍ (Thulium)	Tu	69	169.4
ଇଟରବିୟମ୍ (Ytterbium)	Yb	70	173.04
ଲୁଟେସିୟମ୍ (Lutecium)	Lu	71	174.99
ହାଫନିୟମ୍ (Hafnium)	Hf	72	178.60
ଟାଣ୍ଟଲମ୍ (Tantalum)	Ta	73	180.88
ଟଙ୍ଗଷ୍ଟେନ୍ (Tungsten)	W	74	183.92
ରେନିୟମ୍ (Rhenium)	Re	75	186.31
ଅସମିୟମ୍ (Osmium)	Os	76	190.2

ଉପାଦାନ	ଚିହ୍ନ	ପରମାଣବିକ ସଂଖ୍ୟା	ପରମାଣବିକ ଓଜନ
ଇରିଡିୟମ୍ (Iridium)	Ir	77	193.1
ପ୍ଲାଟିନମ୍ (Platinum)	Pt	78	195.23
ସୁନା (Gold)	Au	79	197.2
ପାରା (Mercury)	Hg	80	200.61
ଥେଲିୟମ୍ (Thallium)	Tl	81	204.39
ସୀସା (Lead)	Pb	82	207.21
ବିସମଥ୍ (Bismuth)	Bi	83	209.00
ପୋଲୋନିୟମ୍ (Polonium)	Po	84	210
ଅସଟେଟିନ୍ (Astatine)	At	85	[210]
ରେଡନ୍ (Radon)	Rn	86	222
ଫ୍ରାନ୍‌ସିୟମ୍ (Francium)	Fr	87	[223]
ରେଡ଼ିୟମ୍ (Radium)	Ra	88	226.05
ଆକ୍‌ଟିନିୟମ୍ (Actinium)	Ac	89	227
ଥୋରିୟମ୍ (Thorium)	Th	90	232.12
ପ୍ରୋଟାକ୍‌ଟିନିୟମ୍ (Protactinium)	Pa	91	231
ଇଉରେନିୟମ୍ (Uranium)	U	92	238.07
ନେପଚୁନିୟମ୍ (Neptunium)	Np	93	[237]
ପ୍ଲୁଟୋନିୟମ୍ (Plutonium)	Pu	94	[239]
ଅମେରିସିୟମ୍ (Americium)	Am	95	[243]
କ୍ୟୁରିୟମ୍ (Curium)	Cm	96	[245]
ବରକେଲିୟମ୍ (Berkelium)	Bk	97	[249]
କାଲିଫୋର୍ଣ୍ଣିୟମ୍ (Californium)	Cf	98	[249]
ଆଇନ୍‌ଷ୍ଟେନିୟମ୍ (Einsteinium)	E	99	[255]
ଫର୍ମିୟମ୍ (Fermium)	Fm	100	255
ମେଣ୍ଡେଲିଭିୟମ୍ (Mendelevium)	Mv	101	[256]
ନୋବେଲିୟମ୍ (Nobelium)	No	102	253

କେତେକ ଭୌତିକ ଧ୍ରୁବାଙ୍କର ପରିମାଣ

ମହାକର୍ଷଣୀୟ ତ୍ୱରଣ (Accelaration due to gravity)	$g=9.80665$ ମି/ସେ²
ଜଳର ସାନ୍ଦ୍ରତା, ଉଚ୍ଚତମ (Maximum Density of Water)	$=.999972\times10^{3}$ କି:ଗ୍ରା:/ମି³
ପାରଦର ସାନ୍ଦ୍ରତା (Density of Mercury)	$=13.5950\times10^{3}$ କି:ଗ୍ରା:/ମି³
ସାଧାରଣ ବାୟୁଚାପ (Normal Atmospheric pressure)	$=760.00$ ମି.ମି., ପାରଦ
ମହାକର୍ଷଣୀୟ ଧ୍ରୁବାଙ୍କ (Gravitational Constant)	$=6.670\times10^{-11}$ ନିଉଟନ ମି²/କି:ଗ୍ରା:²
ଅଭୋଗାଡ୍ରୋଙ୍କ ସଂଖ୍ୟା (Avogadro's number)	$=6.02486\times10^{26}$ କି:ଗ୍ରା:–ମୋଲ
ଆଦର୍ଶ ଗ୍ୟାସ ଧ୍ରୁବାଙ୍କ (Ideal Gas Constant)	$=8316.96$ ଜୁଲ୍/ କି:ଗ୍ରା: (ମୋଲ)/K°
ବୋଲ୍‌ଜମ୍ୟାନଙ୍କ ଧ୍ରୁବାଙ୍କ (Boldman's Constant)	$=Ro/No$ $=1.38042\times10^{-23}$ ଜୁଲ୍/K° $=8.6164$ ଇ:ଭୋ:/K°
ଆଲୋକର ପରିବେଗ (ଶୂନ୍ୟତା) Speed of light (Free space)	$=2.997930\times10^{8}$ ମି/ସେ
ଇଲେକଟ୍ରନ୍‌ର ଚାର୍ଜ (Charge of an Electron)	$=160206\times10^{-19}$ କୁଲମ୍ବ
ଇଲେକଟ୍ରନ୍‌ର ଚାର୍ଜ ଏବଂ ବସ୍ତୁତ୍ୱର ଅନୁପାତ (Charge to Mass ratio of Electron)	$=1.75890\times10^{11}$ କୁଲମ୍ବ/କି:ଗ୍ରା:
ଫାରାଡ଼େଙ୍କ ଧ୍ରୁବାଙ୍କ (Faraday's Constant)	$=9.65219\times10^{7}$ କୁଲମ୍ବ/କି:ଗ୍ରା: (ମୋଲ)

ପ୍ଲାଙ୍କ ଧ୍ରୁବାଙ୍କ (Planck's Constant)	$=6.62517\times10^{-34}$ ଯୁଲ୍:ସେ
ପରମାଣବୀୟ ବସ୍ତୁତ୍ୱ ଏକକ (Atomic Mass Unit)	$=1.660\times10^{-27}$ କି:ଗ୍ରା
ନିଉଟ୍ରନ୍‌ର ସ୍ଥିର ବସ୍ତୁତ୍ୱ (Rest mass of a Neutron)	1.008982 ଅ:ମା:ଇ: 1.67470×10^{-27} କି:ଗ୍ରା
ପ୍ରୋଟନର ସ୍ଥିର ବସ୍ତୁତ୍ୱ (Rest mass of a Proton)	1.007593 ଅ:ମା:ଇ 1.67239×10^{-27} କି:ଗ୍ରା
ହାଇଡ୍ରୋଜେନ୍‌ର ସ୍ଥିର ବସ୍ତୁତ୍ୱ (Rest mass of a Hydrogen)	1.008142 ଅ:ମା:ଇ:
ଇଲେକଟ୍ରନ୍‌ର ସ୍ଥିର ବସ୍ତୁତ୍ୱ (Rest mass of an Electron)	5.4876×10^{-4} ଅ:ମା:ଇ 9.1083×10^{-31} କି:ଗ୍ରା:
ଡଉଟ୍ରିୟମ୍ ସ୍ଥିର ବସ୍ତୁତ୍ୱ (Rest mass of a Deuterium)	2.014735 ଅ:ମା ଇ:
ବସ୍ତୁତ୍ୱ ଶକ୍ତିର ସମ୍ବନ୍ଧ (Relation between mass and energy)	1. ଅ:ମା:ଇ:=931.14 ମି:ଇ:ଭୋ: 1 ଗ୍ରାମ୍ $=5.610\times10^{26}$ ମି:ଇ:ଭୋ: 1 ଇଲେକଟ୍ରନ୍ ବସ୍ତୁତ =0.51098 ମି:ଇ:ଭୋ:
ଷ୍ଟିଫାନ ବୋଲ୍‌ଜମ୍ୟାନଙ୍କ ଧ୍ରୁବାଙ୍କ (Stefan Boltzmann's Constant)	$=5.6687\times10^{-8}$ ଯୁଲ୍/ମି^{2}, ସେ,(°K)^4
ହିମାଙ୍କ (Ice point)	=273.16° K

ପରିଭାଷା

ଅ

ଅତି ବାଇଗଣୀ—Ultraviolet

ଅର୍ଦ୍ଧାୟୁ କାଳ—Half life

ଅର୍ଦ୍ଧ ସୁପରିବାହୀ—Semi-conductor

ଅନନ୍ତ—Infinite

ଅଣୁଗତି ତତ୍ତ୍ୱ—Kinetic theory

ଅନୁପାତୀ—Propertional

ଅନ୍ତର୍ଦହନ-Internal Combustion

ଅନ୍ତର୍ଭେଦୀ—Penetrating

ଅନ୍ତରୀକ୍ଷ—Space

ଅନ୍ତରୀକ୍ଷ ଅନ୍ୱେଷଣ—Space exploration

" ପଦାର୍ଥ ବିଜ୍ଞାନ—Space Physics

" ଯାନ -Rocket

ଅପବର୍ଜନ ନିୟମ—Exclusion Principle

ଅପ୍ରଗାମୀ ତରଙ୍ଗ—Standing Wave

ଅବତଳ—Concave

ଅବଲୋହିତ—Infrared

ଅବଶୋଷଣ—Absorb

ଅବିଚ୍ଛିନ୍ନ ରଞ୍ଜନ ରଶ୍ମିର ବର୍ଣ୍ଣାଳୀ — Continuous X' Ray Spectrum

ଅଭିଲାକ୍ଷଣିକ ବିକିରଣ—Characteristic radiation

ଅଯୁଗ୍ମ—Odd

ଅଲଟ୍ରାଭାଓଲେଟ ରଶ୍ମି—Ultraviolet rays

ଅକ୍ଷାଂଶ—Latitude

ଆ

ଆର୍କ ତାପନ—Arc heating

ଆନୁଭବିକ—Empirical

ଆପେକ୍ଷିକ—Relatviity

" ତତ୍ତ୍ୱ—Theory of Relativity

" ଆବେଗ—Specific impulse

" ପରିବେଗ—Relative Velocity

ଆପତିତ—Incident

ଆବୃତ୍ତି—Frequency

ଆଭାସୀ—Apparent

ଆଭ୍ୟନ୍ତରୀଣ—Internal

ଆରୋହୀପାତ—Ascending

ଆଲୋକୀୟ ଦୂରତା—Optical Path

ଆୟନ ନୋଦନ—Ion Propulsion

ଆୟନିତ—Ionised

ଆୟନୀକୃତ—Ionisation

ଆୟନୀକରଣ—Ionisation

ଆୟାମ—Amplitude

ଇ

ଇଥର—Ether

ଇଲେକଟ୍ରନ୍—Electron

ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ୍ ସୂଚକ—Electron detector

ଇତସ୍ତତଃ—Random

ଉ

ଉତ୍ସର୍ଜିତ—Emitted

ଉତ୍ସର୍ଜନ—Emission

ଉଚ୍ଚତମ ଆବୃତ୍ତି—Highest Frequency

ଉଚ୍ଚତମ—Highest

ଉପକକ୍ଷ—Sub shell

ଉପବୃତ୍ତୀୟ—Elliptic

ଏ

ଏକବର୍ଣ୍ଣ ରଞ୍ଜନ ରଶ୍ମି—Mono-chromatic X-ray

ଏକକ ଆୟତନ—Unit Volume

କ

କୌଣିକ ପରିବେଗ—Angular Velocity

" ସଂବେଗ—Angular Momentum

କଣିକା ତତ୍ତ୍ୱ—Particle theory

କୃତ୍ରିମ ବିଘଟନ—Artificial disintegration

କେନ୍ଦ୍ରାଭିମୁଖୀ—Centrifugal

" ସାଗ୍ରୀ—Centripetal

କେନ୍ଦ୍ରୀୟ ବସ୍ତୁ—Central Body

କମ୍ପନ—Vibration

କୁପରିବାହୀ—Insulator

କମ୍ପଟନଙ୍କ ପ୍ରଭାବ—Crompton effect

କାର୍ଯ୍ୟଫଳନ—Work function

କିରଣ ଗୁଚ୍ଛ—Light beam

କୃଷ୍ଣବସ୍ତୁର ବିକିରଣ—Blackbody radiation

କକ୍ଷ—Orbit

କକ୍ଷ କ୍ୱାଣ୍ଟମ ସଂଖ୍ୟା—Orbital Quantum Number

କ୍ଷ

କ୍ଷୟ—Decay

ଗ

ଗାମା ରଶ୍ମି—γ rays

ଗ୍ରେଟିଙ୍ଗ୍ ଅନୁଘଟ—Grating element

ଗାଣିତିକ—Mathematical

ଗତି ତତ୍ତ୍ୱ—Theory of Motion

ଗତି ଶକ୍ତି—Kinetic energy

ଗୋଲକାକାର—Spherical

ଚ

ଚୁମ୍ବକକ୍ଷେତ୍ର—Magnetic field

ଚୁମ୍ବକୀୟ କ୍ୱାଣ୍ଟମ ସଂଖ୍ୟା—Magnetic Quantum Number

" ଆଘୂର୍ଣ୍ଣ—Magnetic momentum

" ସ୍ପିନ - Magnetic Spin

ଚରଘାତଙ୍କୀୟ ଲାଞ୍ଜ—Exponential tail

ଚାର୍ଜ ଶୂନ୍ୟ—Neutral

ଛ

ଛିନ୍ନ ପରିବେଗ—Cut off or burn-out Velocity

ତ

ତତ୍ତ୍ୱ—Theory

ତରଙ୍ଗ ତତ୍ତ୍ୱ Wave theory

„ ଦୈର୍ଘ୍ୟ—Wave length

„ ଯାନ୍ତ୍ରିକ—Wave mechanics

ତନ୍ତୁ—Filament

ତାତ୍ତ୍ୱିକ ବ୍ୟାଖ୍ୟା—Theoretical explanation

„ ପରିମାଣ—Theoretical value

ତେଜସ୍କ୍ରିୟ—Radioactive

ତାପକ୍ରମ—Temperature

ତାପ—Heat

ତାପୀୟ—Thermal

ତାଲିକା—Table

ତ୍ରିପରିସର ଯୁକ୍ତ—Three dimensional

ତୀବ୍ରତା—Intensity

ତ୍ୱରିତ—Accelerated

ତୀବ୍ର—Intense

ଦ

ଦକ୍ଷତା—Efficiency

ଦୀପ୍ତବସ୍ତୁ—Luminous body

„ କଣିକା—Luminous Corpuscles

ଦ୍ରୁତଗାମୀ—Fast Moving

ଦ୍ୱିପଦ ପ୍ରମେୟ—Binomial Theorem

ଦ୍ୱିପ୍ରକୃତି—Dual nature

ଦୋଳକ—Oscillator

ଦୋଳାୟମାନ—Oscillatory

ଧ

ଧକ୍କା—Collision

ଧାତବପୃଷ୍ଠ—Metalic Surface

ଧୀରଗାମୀ—Slow moving

ଧୂମକେତୁ—Comet

ଧ୍ରୁବାଙ୍କ—Constant

ଧ୍ରୁବୀୟ ସ୍ଥାନାଙ୍କ ପଦ୍ଧତି—Polar Co-ordinate system

ନ

ନମୁନା—Model

ନିଗମନ—Deduction

ନିଷ୍ପନ୍ଦ—Node

ନୋଦନ—Propel

ପ

ପଥ—Track

ପରିସର—Range

ପାରମାଣବିକ ବସ୍ତୁତ୍ୱ—Atomic mass

ପରମାଣବୀୟ ଘଟଣା—Atomic Phenomena

„ ପ୍ରକଳ୍ପ—Atomic Hypothesis

„ ସଂଖ୍ୟା—Atomic number

ପରମ ପରିବେଗ—Absolute Velocity

ପାଗ—Weather

ପାର୍ଶ୍ୱୀକରଣ—Polarisation

ପରିବେଗ ବିତରଣ—Velocity distribution

ପରିବେଗ—Velocity

ପରିକ୍ରମଣ ପରିବେଗ—Revolutional Velocity

ପ୍ରତିକ୍ରିୟା ବଳ—Reaction force

ପ୍ରତିଦୀପ୍ତି—Fluorescence

ପ୍ରତିକ୍ଷେପ—Recoil

ପ୍ରକୀର୍ଣ୍ଣନ—Scattering

„ କୋଣ—Scattering angle

ପ୍ରକୀର୍ଣ୍ଣ—Scattered

ପୃଥକୀକୃତ—Isolated

ପ୍ରତ୍ୟାବର୍ତ୍ତୀ ବିଭବ—Alternative Potential

ପ୍ଲାଜ୍ମା—Plasma

ଫ

ଫ୍ରିଞ୍ଜ୍ ବିସ୍ଥାପନ—Fringe shift

ଫ୍ୟୁଜନ ପ୍ରତିକ୍ରିୟା—Fusion reaction

ବ

ବର୍ଣ୍ଣାଳୀ—Spectrum

ବର୍ଜିତ ବ୍ୟାଣ୍ଡ—Forbidden band

ବସ୍ତୁ ତରଙ୍ଗ—Matter waves

ବସ୍ତୁତ୍ୱ ସଂଖ୍ୟା—Mass number

ବନ୍ଧନ ଶକ୍ତି—Binding Energy

ବହୁସ୍ତର ରକେଟ—Multistage Rocket

ବାହକ—Carrier

ବ୍ୟାଣ୍ଡ ତତ୍ତ୍ୱ—Band theory

ବିକିରଣ—Radiation

ବିକିରିତ—Radiated

ବିଘଟନ—Disintegration

„ ଧ୍ରୁବାଙ୍କ—„ Constant

ବ୍ୟତିକରଣମାପକ—Interferometer

ବିଦ୍ୟୁତ ଚୁମ୍ବକୀୟ ତତ୍ତ୍ୱ—Electromagnetic theory

„ ତରଙ୍ଗ—Electromagnetic Waves

ବିଦ୍ୟୁତ ଚୁମ୍ବକୀୟ—Electromagnetic

„ ଅପଘଟନ—Electrolysis

„ ଚୁମ୍ବକୀୟ ପ୍ରେରଣ—Electromagnetic Induction

„ ପରିବହନ—Conduction of electricity

„ ପରିବର୍ଦ୍ଧକ—Current Amplifier

ବିଭବାନ୍ତର—Potential difference

ବିଭବ ଶକ୍ତି—Potential energy

ବିଭଜନ ପ୍ରକ୍ରିୟା—Fission reaction

ବିମିତି—Dimension

ବିସରଣ—Diffusion

ବିଶିଷ୍ଟ ତାପ—Specific heat

ବିଶେଷ ଆପେକ୍ଷିକ ତତ୍ତ୍ୱ—Special Theory of Relativity

ବିରୋଧାଭାସ—Paradox
ବିକ୍ଷୋଭ—Disturbance
ବିସ୍ତୃତ ବିବରଣ—Detailed analysis
ବିଷ୍କାସିତା—Viscosity
ବିସର୍ଜନ ନଳ—Discharge Tube
ବୈଦ୍ୟୁତିକ ପ୍ରତିରୋଧ—Electrical resistance
ବିକ୍ଷେପ—Deflection
ବୁଦ୍‌ବୁଦ ପ୍ରକୋଷ୍ଠ—Buble chamber
ବସ୍ତୁତ୍ୱର କେନ୍ଦ୍ର—Centre of mass
ବିତରିତ—Distributed
ବେଗ—Speed
ବ୍ୟତିକରଣ—Interference
ବିବର୍ତ୍ତନ—Diffraction

ଭ

ଭୂଲମ୍ବ—Vertical
ଭୂସମାନ୍ତର—Horizontal
ଭୌତିକ ଘଟଣାର ନିୟମ—Laws of Physical Phenomena

ମ

ମହାକର୍ଷଣୀୟ ବଳ—Gravitational Force
ମାଗ୍ନେଟୋ ପ୍ଲାଜମା—Magneto Plasma
ମୁକ୍ତ ଇଲେକଟ୍ରନ—Free electron
ମେଘ ପ୍ରକୋଷ୍ଠ—Cloud Chamber

ଯ

ଯଥାର୍ଥତା—Accuracy
ଯୁଗ୍ମ ପଥ—Pair of Tracks
ଯୁଗ୍ମ—Even

ର

ରଞ୍ଜନ ରଶ୍ମି—X-Rays
ରାସାୟନିକ ଇନ୍ଧନ—Chemical Fuel

ଲ

ଲମ୍ବ ବୃତ୍ତୀୟ କୋନ୍—Right Circular Cone

ଶ

ଶକ୍ତି ବ୍ୟାଣ୍ଡ—Energy band
ଶକ୍ତିର ସଂରକ୍ଷଣ—Conservation of Energy
ଶୂନ୍ୟତା—Vaccum

ସ

ସଂଘଠନ—Collision
ସଂଗ୍ରାହକ ଫଳକ—Collector Plate
ସମୀକରଣ—Equation
ସର୍ତ୍ତ—Condition
ସମକୋଣୀୟ ସ୍ଥାନାଙ୍କ ପଦ୍ଧତି—Rectangular co-ordinate system
ସମାକଳନ—Integrate
ସର୍ପିଳ—Spiral

ସରଳ ରୈଖିକ ପରିବେଗ—Linear Velocity

ସମ୍ଭାବ୍ୟତା—Probability

ସମ୍ଭାବ୍ୟତା ବଣ୍ଟନ—Probability distribution

ସଂବେଗ ସଂରକ୍ଷଣ—Conservation of momentum

ସମ୍ପୂର୍ଣ୍ଣ ଗୁଣିତକ—Exact multiple

ସଂବେଗ—Momentum

ସାନ୍ଦ୍ରତା—Density

ସଂଯୋଗୀ ବ୍ୟତିକରଣ—Constructive Interference

ସଂସ୍ଥାପିତ ତତ୍ତ୍ୱ—Classical Theory

ସୁପରିବାହୀ—Conductor

ସ୍ତମ୍ଭ—Column

ସ୍ଥାନାଙ୍କ ପଦ୍ଧତି—Co-ordinate system

ସ୍ଥିତିସ୍ଥାପକ ସଂଘଟନ—Elastic Collision

ସ୍ଥିର ଶକ୍ତି—Rest energy

